

Optimering av SNCR-system i en
biobränsleeldad panna
Möjligheter till minskade NO_x-utsläpp för ENA
Energi

*Optimization of the SNCR-technique at a
biofueled heat and power plant*

Anna Björk

Abstract

OPTIMERING AV SNCR-SYSTEM I EN BIOBRÄNSLEELDAD PANNA
-Möjligheter till minskade NO_x-utsläpp för ENA Energi

OPTIMIZATION OF THE SNCR-TECHNIQUE AT A BIOFUELED HEAT AND POWER PLANT

Anna Björk

Emission of nitrogen oxides as well as carbon monoxides is an inevitable result of combustion. A Swedish law "Law of environmental fee for emissions of nitrogen oxides as a result of energy production" (lagen om miljöavgift på utsläpp av kväveoxider vid energiproduktion (SFS 1990:613)) controls the emission of NO_x from energy production by a system of fees. The system has resulted in a strong approach toward less emissions of NO_x among the energy production plants. High emission levels, today exceeding 52 mg/MJ_{supplied fuel}, leads to costs for energy production companies. This paper examines possibilities to reduce the emissions of NO_x by optimization of the SNCR-technique in a biofuel fired heat and power plant. SNCR (Selective Non Catalytic Reduction) involve supply of an NO_x reducing reagent in the furnace.

The project is carried out on a 80 MW_t grate fired boiler at ENA Energi AB, Enköping, Sweden. Tests have been worked out to find new strategies for the operation of the SNCR- system.

The project comprised getting acquainted with the plant in Enköping, especially the function and ammonia supply positions of the SNCR-system. Analyses have been focused on periods or loads with high emissions of nitrogen oxides. Tests of the existing ammonia supply positions, of the angle of diffusion and of one new ammonia supply position, have been performed.

The result shows that today's operation is good. However, a good reduction of NO_x can also be achieved by using other combinations of the ammonia supply positions then what is used today. Also, the results show that the carrying air is of great importance.

Handledare: Eddie Johansson
Ämnesgranskare: Magnus Lindgren
Examinator: Bengt Hillring

Sammanfattning

Utsläpp av kväveoxider leder till försurning av mark och vatten samt till övergödning av omgivande hav genom att kväveoxiderna omvandlas till salpetersyra i atmosfären, vilken sedan nedfaller i form av nitratjoner och vätejoner lösta i regnvatten. För att kunna minska utsläppen av kväveoxider(NO_x) finns det i Sverige en kväveoxidavgift.

Kväveoxidavgiften innebär att NO_x -avgiftsskyldiga anläggningar i Sverige, kan få tillbaka pengar om andelen utsläppta kväveoxider per producerad MWh är tillräckligt låg, vilket styrs av marknaden. Detta ger ständiga incitament till minskning av kväveoxider i Sverige.

För ENA Energi innebär kväveoxidavgiften att minskade utsläpp av NO_x kan leda till minskade kostnader eller till och med ökade intäkter.

I ENA Energis kraftvärmepanna används SNCR-teknik för att minska utsläppen av NO_x . Det innebär att man tillför ammoniak(NH_3) och luft in till pannan vilket reagerar med NO_x och bildar kväve(N_2) och vatten(H_2O).

Det här examensarbetet gick ut på att undersöka möjligheter till att optimera SNCR-anläggningen i ENA Energis kraftvärmepanna, vilket samtidigt innebär att gränsvärden på CO- och NH_3 -utsläpp inte får överskridas. Detta genomfördes genom inventering av SNCR-systemet, litteraturstudier, analys av driftdata och tidigare utförda mätningar på ENA Energi, erfarenheter från driftpersonal samt genom några olika tester i SNCR-anläggningen. Några parametrar som speciellt påverkar NO_x är tid, temperatur, turbulens och syrehalt vilka undersöktes speciellt.

Under arbetes gång gjordes tre praktiska tester i SNCR-systemet. Ett provprogram skapades vilket innebär en systematiskt genomgång av alla de positioner där ammoniak tillförs till pannan. Det första testet kom sedan att ligga till grund för nästa test.

Under provprogrammet framkom att den i höjddled översta positionen av ammoniaktillförsel var den mest effektiva samt att ammoniaktillförsel via ventil HRK10 ger bättre NO_x -reduktion än ventil HRK20. I övrigt gjorde begränsningar i repeterbarhet av testresultat att det inte gick att dra definitiva slutsatser av de andra positionerna. Testresultaten mätt i NO_x -reduktion visade sig variera med upp till 16 % vid en och samma last och med samma inställningar på pannan.

Nästa steg fokuserades till den översta positionen för ammoniaktillförsel i pannan och ett test gjordes genom att tillföra ammoniak ovanifrån från panntoppen. Bakgrunden till testet var NO_x -reduktionen som fungerade dåligt vid höga laster genom att inverkan från ammoniaktillförseln var begränsad. På grund av de praktiska förutsättningarna kunde dock inte luft tillföras på panntoppen och testresultaten visade att betydelsen av bärluft i samband med tillförsel av NH_3 vid nya NH_3 -tillförselpunkter är avgörande för reduktionen av NO_x .

Det sista praktiska testet i SNCR-anläggningen gick ut på undersöka effekterna av en förändrad sprayeffekt i tillförseln av ammoniak där bakgrunden var att en större spridningsvinkel hos ammoniaken skulle nå ett större område inne i pannan och därmed ge en bättre NO_x -reduktion. Testresultaten visade att en ändring av spridningsvinkeln på dysorna (med hjälp av Y-kopplingar) totalt gav sämre resultat på NO_x -reduktionen än med de vanliga dysorna eftersom ökningen i NH_3 -slipen inte motsvarades av minskning i NO_x -utsläpp.

Temperatur och syrehalten i pannan, är genom de kemiska reaktionerna, avgörande för NO_x -reduktionen. En för kort uppehållstid i pannan leder till ofullständig förbränning i pannan, vilket resulterar i förutom höga CO-utsläpp och hög askhalt, minskade möjligheter till god NO_x -reduktion. Undersökningarna av parametrarna tid, temperatur, turbulens och syrehalt, visar att förhållandet mellan verklig NO_x - och syrehalt i pannan överensstämmer med teorin. I ENA Energis kraftvärmepanna fås troligen en något kort uppehållstid i pannan vid hög last, vilket är begränsande faktor för NO_x -reduktionen. Stora och återkommande skillnader i temperatur och gaskoncentrationer vid samma höjdnivå har visat att stråkbildning till följd av för låg turbulens förekommer i den aktuella kraftvärmepannan.

NO_x -reduktionen i ENA Energis kraftvärmepanna, varierar mellan 24 – 66 %. I litteraturen brukar en SNCR-anläggning kunna ge mellan 40 – 60 % reduktion av NO_x .

Sammanfattningsvis är en kraftvärmepanna ett komplext system med många olika parametrar som får stor påverkan på resultatet i form av verkningsgrad och emissioner. Det gör systemet svåranalyserat. Ett exempel på det är de variationer i testresultat från mätningar som trots samma förutsättningar har visat skillnader i mätresultat på upp till 16 %. Generellt har analys och mätningar visat att SNCR-anläggningen idag körs bra, men att det även finns andra kombinationer av körsätt som vanligtvis inte körs, som ger bra NO_x -reduktion.

Förord

Det här examensarbetet har utförts på ENA Energi i Enköping, Sverige. Det är ett mindre företag med i dagsläget 40 anställda, vilket har gjort det möjligt för mig att kunna ha kontakt med flera av de anställda på företaget. Kraftvärmepannan, som varit målet för mitt arbete ligger i nära anslutning till kontorsdelen, vilket gjort att jag haft stora möjligheter att på nära håll koppla teori och praktik. Detta har jag upplevt som roligt och lärorikt, speciellt då all personal har varit tillmötesgående och hjälpsamma i alla lägen. Tack!

Jag vill tacka Eddie Johansson på Ena Energi som varit min handledare, jag vill även tacka Hans Johansson på Ena Energi för hjälp av utförande av de praktiska testerna i anläggningen (kraftvärmeverket). Ett stort tack även till alla som under arbetets gång har läst och gett feedback på min rapport, speciellt min ämnesgranskare Magnus Lindgren, det har varit till stor nytta för mig.

Slutligen vill jag tacka nära och kära för stöd och diskussioner om tillvägagångssätt och upplägg.

Anna Björk
Halmstad, februari 2008

Innehållsförteckning

1	INTRODUKTION.....	1
1.1	SYFTE	2
1.2	METOD OCH FÖRUTSÄTTNINGAR	2
1.3	AVGRÄNSNINGAR.....	3
2	BAKGRUND	4
2.1	ENA ENERGI.....	4
2.2	STYRMEDEL – BIOBRÄNSLEBASERAD EL- OCH VÄRMEPRODUKTION	5
3	TEORI.....	10
3.1	FÖRBRÄNNING I ROSTERPANNA	10
3.2	EMISSIONSBILDNING	12
3.3	NO _x -BILDNING	14
3.4	NO _x -REDUKTION	14
4	ANLÄGGNINGSBESKRIVNING	19
4.1	DRIFT AV ANLÄGGNINGEN.....	21
4.2	SNCR-SYSTEMET	22
5	PANNANS KARAKTÄRISTIKA.....	24
5.1	UPPEHÅLLSTID I PANNAN	24
5.2	TURBULENS I PANNAN	24
5.3	TEMPERATURFÖRDELNING I ELDSTADEN.....	24
5.4	SYREHALT	28
6	BESKRIVNING OCH ANALYS AV TESTER.....	31
6.1	NO _x -UTSLÄPP FRÅN OLIKA NH ₃ -TILLFÖRSELPUNKTER I SNCR-SYSTEMET.....	31
6.2	EFFEKTER AV TEST MED NY TILLFÖRSELPUNKT FÖR NH ₃	37
6.3	ANALYS AV SPRIDNINGSVINKELNS BETYDELSE FÖR NO _x -REDUKTIONEN	39
7	SAMMANFATTANDE RESULTAT OCH DISKUSSION.....	43
8	SLUTSATSER.....	45
9	FÖRSLAG TILL UTVECKLING	46
10	REFERENSER.....	47
	APPENDIX.....	49

1 Introduktion

Energi är en central resurs i dagens samhälle. Alla funktioner i samhället är beroende av energi. Transportsektorn använder mycket energi i form av drivmedel till fordon, tillverkningsindustrin har ett stort behov av elenergi och det kalla svenska klimatet skapar efterfråga på värme i bostäder och lokaler.

Förr i tiden var det enda uppvärmningssättet eldning av ved lokalt i en eller flera spisar i bostaden. Därefter började uppvärmningssystem komma in i bilden och man byggde rörsystem som kunde föra ut värme till många rum utan att behöva ha flera spisar. I större hus övergick man så småningom till koleldning vilket avsevärt underlättade hanteringen genom det högre energivärdet i kol jämfört med i ved.

Relativt nyligen, för bara 60 år sedan var begrepp som fjärrvärme och kraftvärme knappt uppfunna. På de platser där spillvärme från exempelvis pappersmassafabriker fanns att tillgå började utvecklingen av fjärrvärmen, det som i dagens Sverige är en mycket vanlig uppvärmningsform. I 234 av landets 290 kommuner finns idag fjärrvärmeverk som levererar värme till centralorten. (Energimyndigheten, 2006) Parallellt med utbyggnaden av fjärrvärmeverk, fanns också kraftvärmen som dock har fått stå tillbaka på grund av politiska och ekonomiska skäl. Låga elpriser och olika subventioner gjorde det helt enkelt inte gynnsamt för kraftvärme. (Kaijser, A., 1990) Så sent som i maj 2003 infördes elcertifikaten som har gett biobränslebaserad kraftvärme stort uppsving. Basen för bränslet i kraft- och värmeverken har under åren förändrats, från tidigare olja och kol, till biobränslen, torv och avfall som används idag.

Oavsett bränsle, ger all förbränning upphov till utsläpp i form av bland annat koloxider (CO_x) och kväveoxider (NO_x). Många bränslen ger dessutom upphov till svaveloxider (SO_x). Dessa föreningar är oönskade ur miljöperspektiv varför regelverk finns för att hålla utsläppen låga. En rad olika politiska bestämmelser påverkar kraft- och värmeverksbranschen idag, däribland NO_x -avgiften. NO_x -avgiftens uppbyggnad med betalning enligt kvoten NO_x -utsläpp genom producerade antal MWh, ger en möjlighet för företagen att faktiskt tjäna pengar på låga NO_x -utsläpp. Därför blir det inom branschen hela tiden intressant att studera möjligheterna till minskade utsläpp.

Det finns en rad olika metoder att minska utsläppen av NO_x . Med primära åtgärder justeras de förbränningstekniska bitarna, såsom lufttillförsel och syrehalt, för att minimera bildningen av NO_x . Sekundära åtgärder innebär reduktion av redan bildad NO_x , där SCR- eller SNCR- (Selective (Non) Catalytic Reduction) teknik är de vanligaste metoderna. I kraftvärmepannan på ENA Energi i Enköping används SNCR-teknik som innebär tillförsel av ammoniak och luft in till pannan i ett flertal positioner.

1.1 Syfte

Syftet med det här examensarbetet är att optimera SNCR-systemet i ENA Energis biobränsleeldade kraftvärmeverk för att på så sätt minska utsläppen av NO_x . Utsläpp av NO_x har en negativ påverkan på miljön samtidigt som NO_x -utsläppen är avgiftsbelagda. Kan utsläppen av NO_x minska kan kostnaderna för företaget minska liksom den negativa påverkan på miljön. Eftersom NO_x -utsläppen är kopplade till utsläppen av CO och NH_3 , innebär en optimal reduktion samtidigt att utsläpps begränsningarna av CO- och NH_3 inte får överstigas.

1.2 Metod och förutsättningar

Arbetet inleddes med litteraturstudier. Det innebar studier av vetenskapliga artiklar från bland annat Värmeforsk, tidigare utförda rapporter gjorda på kraftvärmepannan samt litteratur för att få en djupare förståelse för rökgasrening, speciellt "Förbrännings- och rökgasreningsteknik" av Lars Wester. Vidare hanterades och analyserade driftstatistik för att få en uppfattning om hur olika intressanta parametrar varierar vid olika last i den aktuella kraftvärmepannan på ENA Energi. En omfattande bearbetning och analys gjordes av en rapport som utförts av Technical University of Denmark i samarbete med Burmeister & Wain Energi A/S, där Burmeister & Wain Energi A/S är företaget som konstruerade kraftvärmepannan. Rapporten bygger på mätningar utförda i kraftvärmepannan ENA Energi och behandlar gaskoncentrationer, lambdavärden samt rökgastemperaturer i eldstaden. (Hansen, J. et al., 1997)

Rent praktiskt utfördes i ett tidigt skede en inventering av SNCR-systemet där funktionen hos tryck- och flödesmätare kontrollerades och vid behov justerades. En analys av SNCR-systemets nuvarande funktion utfördes för att få kännedom om den tänkta funktionen hos SNCR-systemet och för att undersöka om SNCR-systemet fungerade som beskrivningen av systemet sa. Det gjordes genom att studera "Driftinstruktion Ammoniakdosering (De- NO_x)". (Burmeister & Wain Energi A/S, 1994) Instruktions jämfördes sedan med den aktuella driften.

Vidare utfördes en kartläggning av hur olika faktorer som påverkar NO_x , dvs. pannans karaktäristika, ser ut i ENA Energis kraftvärmepanna. Efter kartläggning av de olika faktorerna som påverkar NO_x , gjordes ett antal praktiska tester i SNCR-anläggningen i syfte att uppnå en optimalare NO_x -reduktion med SNCR-systemet. Dessa tester var:

1. Provprogram. Vad händer om tillförsel av NH_3 sker högst upp i pannan och inte i mitten? Eller i mitten och inte längst ned? På vilket sätt skiljer sig NO_x -reduktionen vid ammoniaktilförsel vid olika nivåer? Sådana frågetecken undersöktes genom en systematisk genomgång av de olika tillförselnivåerna vid två olika laster.

2. Test med ny tillförselpunkt. Vad händer om NH_3 tillförs i en ny punkt placerad i en tidigare obeprövad position? Hur förändras NH_3 -slip och NO_x -utsläppet? Dessa frågor besvaras genom ett test med en ny tillförselpunkt på panntoppen.
3. Test med annan spridningsvinkel. Om sprayeffekten från en tillförselpunkt får ett annat utseende, vilken betydelse får det för NO_x -reduktionen och NH_3 -slipen? Detta undersöks genom test.

NO_x -utsläppen från kraftvärmepannan har vid mellan- samt låg last i regel varit mycket låga, runt ca 30 mg/MJ, vilket gjorde att höglast-fallen blev mer intressanta att undersöka och analysera, vilket rapporten också speglar. Resultaten av analyser presenterades i tabeller och diagram.

På ENA Energi finns ett program PGIM (Power Generation Information Manager) som lagrar, hanterar och presenterar stora mängder data (minutmedelvärden) från signaler i och runt omkring pannan. Ur dessa data kan många olika samband tas fram, samt att det är möjligt att koordinera programmet mot Excel, vilket gör det möjligt att hantera och presentera informationen på många olika sätt(se Appendix 10).

1.3 Avgränsningar

Att reducera NO_x från en förbränningsanläggning kan ske med hjälp av en mängd åtgärder. Det här projektet begränsas dock till att undersöka effekten av sekundära åtgärder, vilket innebär åtgärder för att reducera bildad NO_x . Åtgärder för att förhindra uppkomsten av NO_x , dvs. primära åtgärder, ingår alltså inte. Det innebär bland annat att förändringar i tillförsel av luft inte kommer att analyseras eller testas. Inom ramen för sekundära åtgärder är det SNCR-tekniken, en torr process för reducering av NO_x som kommer att undersökas. Undersökning av resterande sekundära åtgärder utgår på grund av tidsramen för projektet. Bränslets kvalitet och innehåll varierar och har stor betydelse för förbränningens karaktäristika men variationen i bränslets kvalitet kommer inte att tas hänsyn till utan ett medelvärde med fukthalt på 45 % samt fördelningen 50 % GROT, 20 % sågspån, 20 % bark och 10 % salix kommer att användas.

2 Bakgrund

2.1 ENA Energi

De första planerna på fjärrvärme i Enköping kom 1969. I september två år senare, 1971, bildades dåvarande Enköpings värmeverk. Som bränsle vid produktionen av fjärrvärme användes då främst eldningsolja, Eo1, som gav sammanlagt 16 MW effekt fördelat på ett antal mindre panncentraler. Företaget hade vid den tiden tre anställda. Ett år senare var bolaget ombildat till aktiebolag, AB Enköpings värmeverk, och i december 1972 uppgick den sammanlagda effekten till 30 MW.

Utvecklingen och utbyggnaden av fjärrvärmenätet gick snabbt och redan 1973 hade AB Enköpings värmeverk en installerad effekt på 52 MW och en personal på 6 fast anställda. Oljekrisen, år 1973, gjorde att priset på eldningsolja nästan fyrdubblades, vilket ledde till att planer på kolkraft utreddes. Detta resulterade i byggnation av en stor hetvattenpanna, HPC, som huvudproduktionsanläggning. Utveckling och nybyggnation fortsatte och 1991 hade företaget 22 heltidsanställda och en sammanlagd installerad effekt på 143 MW. Då (började) planerna på ett kraftvärmeverk och till det funderingar över vilka bränslen som skulle eldas. Skatter tillsammans med höga priser hade sedan länge gjort både olja och kol inaktuella och man använde el, flis och gasol i nämnd ordning som bränslen. Efter inventering av den direkta omnejden samt studiebesök i Danmark där man eldade spannmålshalm, föll valet på biobränsle och resulterade i en biobränsleeldad rosterpanna.

1992 träffades en överenskommelse med Västerås Energi & Vatten (nuvarande Mälarenergi) om att bygga det biobränsleeldade kraftvärmeverket i Enköping. De två företagen ingick ett avtal som reglerade att värmen från kraftvärmeverket skulle levereras till Enköpings fjärrvärmenät och den producerade elenergin skulle levereras till Västerås Energi & Vatten. För att förverkliga planerna bildades ENA Kraft AB som ägdes med 50 % vardera av de två energiföretagen. Så såg ägandeskapet ut ända fram till 2004 då AB Enköpings värmeverk beslutade att köpa Mälarenergis aktier i ENA Kraft så att 100 % ägs av AB Enköpings värmeverk. Ytterligare två år senare, första januari 2006, blir AB Enköpings värmeverk och ENA Kraft ett bolag, ENA Energi AB.

ENA Energi består idag av tre anläggningar: ENA Energi, Tjädern och Stenvreten med sammanlagt följande produktionsenheter: ett biobränsleeldat kraftvärmeverk, en träpolvereldad hetvattenpanna, en olje/gaseldad hetvattenpanna, tre oljeeldade hetvattenpannor, en elpanna samt rötgas från soptipp. I den här rapporten behandlas kraftvärmepannan ENA Energi. (ENA Energi AB, 2007)

2.2 Styrmedel – Biobränslebaserad el- och värmeproduktion

Kraftvärmebranschen har historiskt sett påverkats mycket av gällande lagar och regelverk. Låga elpriser och olika styrmedel har påverkat valet mellan kraftvärme eller ren värmeproduktion i såväl uppförande av anläggning som i drift av anläggning.

Under en stor del av perioden när fjärrvärmen byggdes ut i Sverige, speciellt under fjärrvärmens stora utbyggnad på 1970-talet, gjorde främst det låga elpriset och dåvarande styrmedel som gynnade eluppvärmning i bostadshus att det främst byggdes rena värmeverk (fjärrvärme) och inte kraftvärme i någon större utsträckning. (Kaijser, A., 1990)

Dagens situation är annorlunda, ett högre elpris och möjligheten att vid användning av förnyelsebara energislag såsom biobränsle ta del av gröna elcertifikat, (se 2.2.1) gör att det vid nybyggnation främst byggs kraftvärmeverk, speciellt biobränsleeldade. Även för dagens kraftvärmeverk har olika styrmedel en direkt påverkan på hur anläggningarna körs. Ligger elpriset högt påverkar det hur mycket el företaget producerar. För företag med rökgaskylare, en komponent som dels ytterligare tar vara på värmen och dels renar rökgaserna ytterligare, kan det, vid höga elpriser, bli intern konkurrens om värmeproduktionen. Det kan leda till mindre rening av rökgaserna eftersom man önskar producera all värme i turbinens kondensor.

2.2.1 Elcertifikat

Gröna elcertifikat infördes den 1 maj 2003 för att öka elproduktionen från förnyelsebara energikällor. Elcertifikatsystemet är ett marknadsbaserat styrmedel som baseras på handel mellan producenter av förnyelsebar el och konsumenter. I praktiken är det elbolagen samt stora elkonsumenter som är kvotpliktiga, dvs. de är skyldiga att köpa en viss mängd elcertifikat i förhållande till sin elleverans till kund, så att kvoten grön el uppfylls. Vilken kvot grön el som måste köpas ändras varje år och uppgår till 15,1 % år 2007. (Naturvårdsverket, 2006-12-18)

För att en anläggning skall tilldelas elcertifikat, måste den använda någon av de godkända energikällorna; vindkraft, viss vattenkraft, vissa biobränslen, solenergi, geotermisk energi, vågenergi samt torv i kraftvärmeverk. Dessutom måste anläggningen vara ansluten till ett elektriskt nät samt ha timvis mätning. Varje producerad MWh ger då ett elcertifikat. Vid stor efterfrågan på el ökar elcertifikatpriset genom konkurrens på elmarknaden, vilket ger producenter av grön el en hög inkomst per producerad MWh. (Naturvårdsverket, 2006-12-18)

2.2.2 Kraftvärmebeskattning

Kraftvärmeverk kan per definition producera både värme och el. Elproduktion beskattas inte medan samtliga bränslen som används till värmeproduktion, utom torv och biobränslen, är belagda med en koldioxidskatt. Tidigare beskattades värmeproduktion baserad på andra bränslen än biobränsle och torv till 100 %

samtidigt som man fritt kunde allokera bränsleanvändningen på el och värme. Producerade en anläggning en del el och två delar värme med bränslesammansättningen en del kol och två tredjedelar biobränsle kunde de välja att allokera all kolanvändning till elproduktionen och all biobränsleanvändning till värmeproduktionen. På så sätt undveks all beskattning eftersom elproduktion inte beskattas och biobränsle är CO₂-neutralt, dvs. inte beskattas heller. Möjligheten att allokera bränslen mellan olika produkter togs bort 2004 och idag måste el- och värmeproduktionen bestå av samma fördelning bränslen. Det innebär att elen och värmen har lika andelar av den totala bränsleanvändningen som i verkligheten. Samtidigt som möjligheten att fritt allokera bränslen togs bort, övergick beskattningen av kraftvärmeverk till att beskattas som industrin. Det innebär att koldioxidskatten sänktes till 21 % av tidigare beskattning men med fortsatt beskattning av elen hos konsumenten och inte hos producenten. Den sänkta koldioxidskatten har ökat konkurrenskraften för fossilbaserad kraftvärme. (Energimyndigheten, 2005)

2.2.3 Utsläppsrätter

En annan form av styrmedel, som också påverkar kraftvärmebranschen, är handel med utsläppsrätter. Den 1 januari 2005 infördes EU:s system för handel med utsläppsrätter med syfte att minska koldioxidutsläppen i Europa. Handel är uppdelad på olika perioder och den första handelsperioden sträcker sig mellan 2005-2007 och gäller då endast koldioxid. I framtiden kan det komma att gälla även andra växthusgaser.

Utsläppshandeln gäller i dagsläget kraft- och värmeverk, oljeraffinaderier, anläggningar som producerar och bearbetar järn, stål och glasfiber, cement och keramik samt anläggningar som producerar papper och pappersmassa. Internationellt så sätts ett tak för varje lands utsläpp av CO₂, vilket sedan fördelas i form av utsläppsrätter inom landet, med eller utan kostnad för det enskilda företaget. I Sverige har tilldelningen av utsläppsrätter hittills skett utan kostnad. Utsläppsrätterna har tilldelats de företag som inkluderats i handelssystemet motsvarande totalt 67,3 MtCO₂. Fördelningen sker i princip beroende på hur mycket CO₂ som företaget släpper ut med justering för ökning av CO₂-utsläpp samt justering för varje bransch. 1 ton CO₂ motsvarar 1 utsläppsrätt. Biobränslen räknas som CO₂-neutralt och ingen utsläppsrätt behövs därför till utsläpp av biobränsleproducerade produkter. De flesta biobränsleeldade kraft- och värmeproducerande anläggningar förbrukar dock en del olja eller naturgas vid uppstart av en anläggning samt till reservkraft. (Energimyndigheten (2007-05-27))

2.2.4 NO_x-avgiften

1992 infördes en avgift på utsläpp av kväveoxider (NO_x) från större förbränningsanläggningar i Sverige för att minska de svenska kväveutsläppen. (Naturvårdsverket 2007-01-30)

Avgiften på utsläpp av kväveoxider regleras av lagen om miljöavgift på utsläpp av kväveoxider vid energiproduktion (SFS 1990:613). Lagen gäller utsläpp av

kväveoxider från pannor, stationära förbränningsmotorer och gasturbiner med en nyttiggjord energiproduktion på minst 25 GWh per år, under förutsättning att den nyttiggjorda energin används för byggnadsuppvärmning, elproduktion eller till industriella processer. Avgiften uppgår till 40 kr per kilo utsläppta kväveoxider räknade som kvävedioxid (NO₂), men omfördelas sedan mellan de avgiftsskyldiga genom att beräkna ett medelvärde av utsläppt kväve per MWh för alla anläggningar: (Total mängd (kg) utsläppt NO_x, omräknat som NO₂, divideras med total mängd nyttiggjord energi (MWh)). Se Naturvårdsverkets beräkningar i Tabell 1 nedan. Medelvärdet utgör sedan en gräns så att de som ligger ovan gränsen betalar till dem som ligger under. Det skall alltså löna sig att ha låga NO_x-utsläpp. Detta innebär att företag med små utsläpp av kväveoxider per nyttiggjord energimängd får tillbaka ett större belopp än de betalar in, medan företag med stora utsläpp per nyttiggjord energimängd förlorar på systemet.

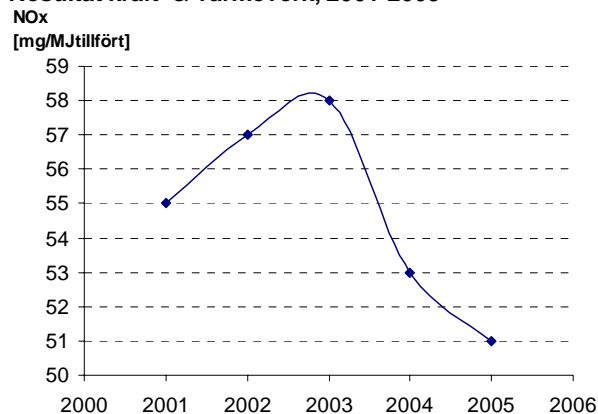
*Tabell 1: Kväveoxid och energiproduktion totalt för 2005. * Beräknat utifrån den pannverkningsgrad som har angivits i deklarationen. Tabell: Naturvårdsverket.*

Kväveoxidutsläpp och energiproduktion för det senaste deklara-tionsåret 2005	
Antal anläggningar	264 st
Antal produktionsenheter	411 st
Deklarerade NO _x -utsläpp	14 370 ton
Miljöavgift	574 791 200 kr
Överskjutande belopp från föregående år	7 049 861 kr
Naturvårdsverkets administrativa kostnader	-4 555 000 kr
Undantag från fördelningen	-15 000 000 kr
Summa att fördela (återföring)	562 286 061 kr
Nyttiggjord energi	64 812 282 MWh
Tillgodoföring	8,68 kr/MWh
Specifikt utsläpp per enhet nyttiggjord energi	0,222 kg/MWh
Specifikt utsläpp per enhet tillförd energi*	57 mg NO _x /MJ

Företagen betalar alltså en avgift för kvoten utsläppt NO_x omräknat i NO₂ i förhållande till nyttiggjord energi, för blankett se Appendix 2. Man kan alltså få tillbaka pengar om man har tillräckligt låga NO_x-utsläpp per MWh och om utsläppen är väldigt låga kan man alltså till och med tjäna pengar på systemet. Detta gör att det för företag i branschen, hela tiden finns en strävan att minska NO_x utsläppen, vilket samtidigt leder till att det riskerar att bli dyrt att inte följa med i utvecklingen.

Utvecklingen av NO_x-utsläppen för kraft- och värmeverken visas i Figur 1.

Resultat kraft- & värmeverk, 2001-2005



Figur 1: Årsmedelvärde för specifikt utsläpp av NO_x/nyttiggjord energi i mg/MJ, 2001-2005 Data: Naturvårdsverket (2007-01-30).

Figur 1 visar en uppgång av NO_x-utsläppen mellan 2001-2003, vilket beror på att gränsen för minsta energiproduktion tidigare var 50 GWh. Idag är det pannor med en nyttiggjord energiproduktion om minst 25 GWh som omfattas av lagen.

Pannor som hade en lägre energiproduktion än 50 GWh, tillkom på grund av ändrat gränsvärde. Skillnaden mellan specifikt utsläpp av NO_x 57 mg/MJ i Tabell 1 och 51 mg/MJ i Figur 1 för år 2005, beror på att värdena i Tabell 1 gäller alla avgiftsskyldiga anläggningar, inte enbart kraft- och värmeverk. Medelvärdet för utsläpp i kraft- och värmeverksbranschens ligger alltså lägre än medelvärdet för alla avgiftsskyldiga anläggningar tillsammans.

2.2.5 Kostnader för ENA Energi relaterade till NO_x-utsläpp

ENA Energis kraftvärmepanna producerar varje år drygt 300 GWh nyttiggjord energi. År 2006 uppgick utsläppen av NO_x till 85 055 kg, räknat som NO₂. Med avgiften 40 kr/kg NO_x blir det totalt 3 402 200 kr. Det specifika NO_x-utsläppet för kraftvärmepannan ENA Energi år 2006 blir 0,231 kg NO_x/MWh (85055 kg/367 487 MWh). Det preliminära specifika NO_x-utsläppet för alla NO_x-avgiftsskyldiga anläggningar 2006 är i genomsnitt 0,214 kg/MWh nyttiggjord energi eller 52 mg/MJ_{tillfört}, se Appendix 1 (Naturvårdsverket, 2007-01-16). Medräknat panneffekten, blir medelvärdet av utsläppt NO_x för ENA Energi år 2006, 60,84 mg/MJ_{tillfört}. Jämfört med ett medelvärde i branschen på preliminärt 52 mg/MJ_{tillfört} kommer det att innebära en nettokostnad. Tillgodoförningens storlek år 2006, blir preliminärt 8,44 kr/MWh jämfört med 8,68 kr/MWh för år 2005. Det skulle innebära en total nettokostnad för ENA Energi på 3 402 200 kr – (367 487 MWh * 8,44 kr/MWh) = 300 610 kr.

Incitamentet för företag att minska sina NO_x-utsläpp ligger i minskade utgifter eller ökade intäkter. Naturvårdsverket (2007-01-30) NO_x-minimering kan därmed vara en långsiktig satsning för att undvika eventuella framtida kostnader.

ENA Energi, som reducerar sina NO_x-utsläpp med reduktionsmedlet ammoniak i sitt SNCR-system, förbrukar även en del ammoniak som innebär kostnader för företaget. Ett genomsnittligt år förbrukas drygt 200 ton 25 % ammoniakblandning, till ett värde av ca 340 000 kronor per år. Denna kostnad är dock liten med tanke på vilken nytta den gör. Insatsen av dryga 340 000 kr leder till att ENA Energi undviker en kostnad på drygt tre miljoner kronor. Det finns därför ingen anledning till att minska förbrukningen av ammoniak i någon större utsträckning.

3 Teori

3.1 Förbränning i rosterpanna

Vid all förbränning undergår bränslet tre faser: torkning, förgasning och förbränning av förgasade ämnen. För att uppnå fullständig förbränning, som innebär att alla brännbara beståndsdelar av bränslet förenar sig fullständigt med syre, krävs följande:

1. Tillgång till syre inom för varje bränsle bestämda gränser, dvs. god bränsle/luft-blandning.
2. Tillräckligt hög temperatur för att processen skall vara självunderhållande
3. Tillräckligt lång uppehållstid i förbränningskammaren så att förbränningen är avslutad när rökgaserna lämnar eldstaden. (Alvarez, 2003)

Sammanfattningsvis brukar dessa kriterier kallas de tre T:na; tid, turbulens, och temperatur. Effekten hos en förbränningsanläggning kan beräknas med formeln:

$$P_N = \sum_{i=1}^n q_i * (h_2 - h_1) \frac{kJ}{s} \quad (1)$$

där

n = antal medieflöden

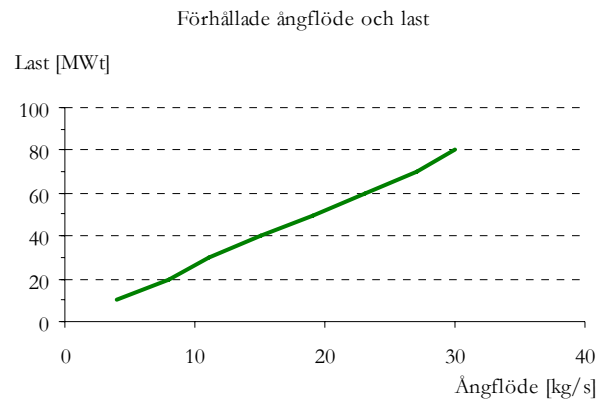
q_i = massflöde $\frac{kg}{s}$

h_1 = entalpi på ingående värmebärare $\frac{kJ}{kg}$

h_2 = entalpi vid utgående värmebärare $\frac{kJ}{kg}$

(Fransson, K., Larsson, E., 1989)

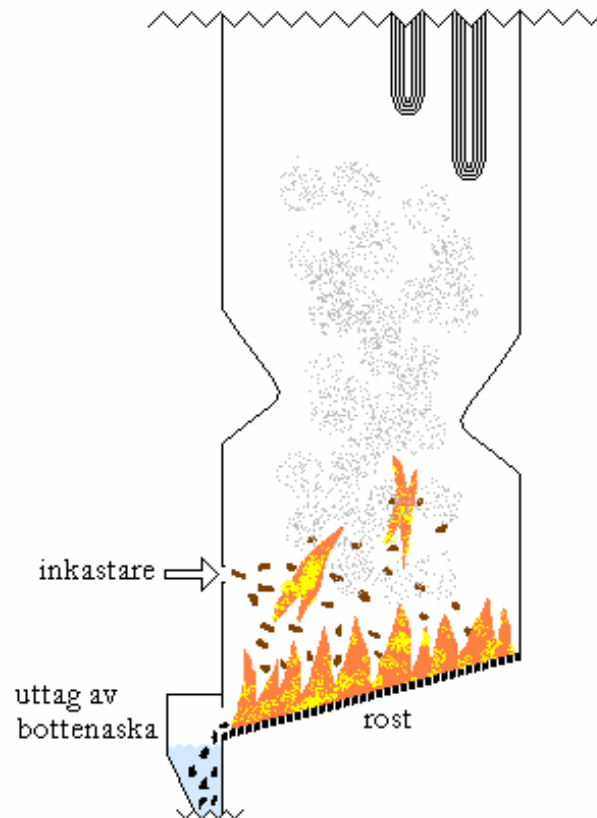
I ett kraftvärmeverk används samma ånga till både el- och värmeproduktion, så för att beskriva pannlasten kommer ångflödet härnäst användas. Den totala panneffekten och ångflödet är nästan linjära och i Figur 2 nedan presenteras förhållandet för kraftvärmepannan ENA Energi för ett antal laster. Värdena skall ses som ungefärliga.



Figur 2: Förhållande ångflöde- last. Data från PGIM.

MW_t innebär termisk effekt och innefattar el + värmeenergi

Det finns olika typer av förbränningsanläggningar för förbränning av fasta bränslen; CFB(Cirkulerande fluidiserad bädd)-panna, rosterpanna m.fl. Kraftvärmepannan ENA Energi är en vibrationsrosterpanna. Det finns även olika typer av rosterpannor.



Figur 3: Rosterpanna. Bild: ENA Energi AB

Det är då främst rostern som skiljer dessa olika typer av rosterpannor åt. En del rosterpannor har en fix rost, en del har ett band som hela tiden matar fram bränsle och andra har ett roster som vibrerar med jämna mellanrum. Hos många rosterpannor lutar rostern för att underlätta askuttag. (Wester, L., 2002, Alvarez, 2003) Figur 3 ovan visar en rosterpanna med lutande vibrationsroster.

Förbränning av biobränsle i en rosterpanna sker vanligtvis via stegvis lufttillförsel eftersom det leder till mindre utsläpp av NO_x . I ett första steg torkas bränslet som har en fukthalt på cirka 45 % med hjälp av primärluften. Därefter tillförs mera luft (sekundärluft) varvid bränslet förångas. Slutligen förbränns det förångade bränslet i en tredje fas. För att justera utsläppen tillsätts även tertiärluft. I en rosterpanna tillförs generellt primärluften till rostern underifrån. Sekundär- och tertiärluften tillförs horisontellt runt om eldstaden och kan tillsättas på olika nivåer i pannan. Midjan på pannan på bilden ovan kallas näsa och har till funktion att öka rökgasflödet.

Ju mindre styckestorlek ett bränsle har, desto högre tänd- och reaktionsvillighet har det, varför gasformiga bränslen har de allra bästa förutsättningarna för förbränning. Fukt i ett bränsle sänker förbränningstemperaturen. (Alvarez, 2003)

3.2 Emissionsbildning

Om förbränning sker vid för låg syrehalt fås ofullständig förbränning. Då fås höga CO -utsläpp och hög andel aska som följd. Är det för hög syrehalt bildas istället mycket NO_x . Med nuvarande lagar och regler, finns det krav på både CO - och NO_x -utsläpp, vilket innebär att förbränningen måste anpassas. I praktiken innebär det ofta att förbränningen styrs så att man får så hög CO som möjligt inom ramen för kravet på CO för att på så sätt hålla NO_x -utsläppen nere. (Wester, L., 2002)

Mängden NO_x som bildas i eldstaden och fördelningen mellan NO och NO_2 , är starkt kopplat till förbränningsförutsättningarna, dvs. de beror på faktorerna; **tid**, **turbulens**, **temperatur** och **syrehalt** i pannan. (Schuster, R., 2003)

Uppehållstiden i pannan har betydelse för NO_x -reduktionen. Vid förändring i tillförseln av ammoniak till pannan, påverkas NO_x -halten inom 0,5 sekunder. (Schuster, R., 2003) Hur och var NO_x bildas beror även på hur ”stråken” i pannan går dvs. hur bra omblandningen i pannan är. Stråk bildas genom påverkan från lufttillförseln in till eldstaden samt hinder i strömriktningen såsom pannans näsa. Stråk är partier av extra höga eller låga koncentrationer av olika gaser. Temperaturen för spontan reaktion mellan reduktanten och NO_x måste ligga i närheten av 850°C . För att bibehålla tillräckligt låg CO -halt i pannan, måste syrehalten regleras via luftflöden i pannan. Det gör att flammen, eller förbränningszonen, flyttas och både temperatur, syrehalt och uppehållstid förändras både lokalt och globalt. (Schuster, R., 2003) Styrning och reglering av NO_x är därför svårhanterligt.

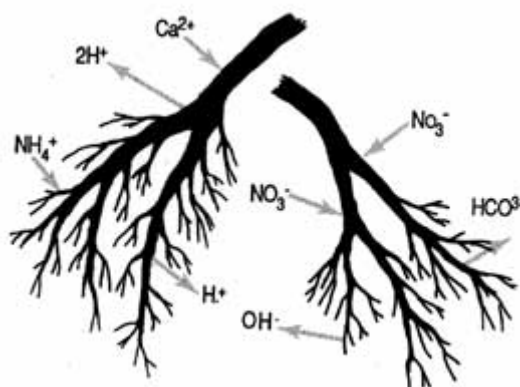
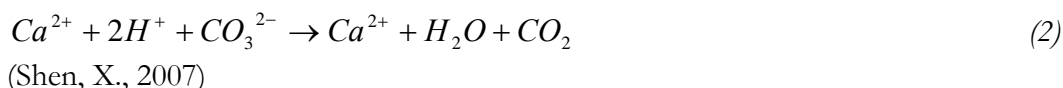
Andra faktorer som påverkar NO_x är **bränslebädden** och **bränsleegenskaper**. I rosterpannor med vibrerande roster, flyttas och förändras bränslebädden då rostern vibrerar. Förhållandena på bädden påverkar kraftigt den primärt bildade NO_x -halten. (Schuster, R., 2003) Hur bränslebädden och bränsleegenskaper inverkar kommer inte att utredas närmare inom ramen för detta arbete.

3.2.1 Miljöpåverkan av NO_x-utsläpp

All förbränning leder till NO_x-bildning och därmed utsläpp av NO_x till omgivningen. NO_x-utsläpp från industri, transport, kraft- och värmeverk m.fl. innebär negativ miljöpåverkan och leder till försurning av mark och vatten samt till övergödning av omgivande hav.

Upphållstiden för kväveoxider, NO och NO₂ i atmosfären, är mellan två och fem dagar. För lustgas, N₂O är upphållstiden betydligt längre, ca 150 år. I atmosfären omvandlas kväveoxiderna till salpetersyra (HNO₃). Merparten av salpetersyran når marken löst i regnvatten i form av nitratjoner och vätejoner. Kväveoxiderna och salpetersyran kan emellertid också torrdeponeras direkt på mark och vegetation. (ÅF, 2007-01-30)

Försurning är en naturlig process som uppkommer när växter tar upp näring i form av positiva joner t ex ammoniumjoner eller kalciumjoner, se Figur 4. Då avges motsvarande mängd vätejoner och marken försuras. Detta är det typiska för svenska jordar. Om växten i stället tar upp näring i form av negativa joner - t ex nitrat - avges motsvarande mängd hydroxidjoner eller vätekarbonatjoner, vilket motverkar markförsurningen. När salpetersyra, som bildas ur kväveoxider, eller svavelsyra, som bildas ur svaveldioxid, långvarigt tillförs marken fås onaturlig försurning som är skadligt för miljön. (ÅF, 2007-01-30) Vid kalkning tillsätts kalksten eller kalciumkarbonat (CaCO₃) som kan reducera mängden vätejoner i marken genom nedanstående reaktion:



Figur 4: Försurning genom växters näringsupptag.
Bild: Naturvårdsverket.

Kväveoxider ger också direkta skador på växtligheten, genom bildning av fotokemiska oxidanter, bland annat marknära ozon. De fotokemiska oxidanterna kan hos människor ge irritationer i ögon, näsa och hals, öka infektions-känsligheten och ge lungsjukdomar. (ÅF, 2007-01-30)

3.3 NO_x-bildning

Kväveoxider NO och NO₂ samt lustgas (N₂O) bildas vid olika förutsättningar. N₂O bildas främst vid låga förbränningstemperaturer, medan NO- och NO₂-bildning är dominerande vid förbränningstemperaturer över ca 900°C. NO och NO₂ brukar sammantaget kallas NO_x där NO i regel utgör minst 95 % av NO_x i pannans utlopp. (Wester, L., 2002)

Det finns tre bildningsmekanismer för NO_x-bildning:

- Så kallad **termisk NO_x** bildas då kvävet i förbränningsluften oxideras vid en förbränningstemperatur på 1000-2000 °C. Denna reaktion kan ske utan att bränslet innehåller något kväve. (Wester, L., 2002)
- **Bränsle-NO_x** bildas då kvävet i bränslet reagerar med syret i förbränningsluften. (ÅF, 2007-01-30) Generellt bildas mer NO_x ju högre temperatur och större luftöverskott som förekommer i förbränningsprocessen. (Wester, L., 2002)
- Den tredje bildningsmekanismen för NO_x är **prompt NO_x** som bildas i flaman genom reaktion mellan molekylärt kväve i förbränningsluften och flyktiga kolväten från bränslet. (Wester, L., 2002)

Vid förbränningen av biobränslen med 45 % fukthalt i rosterpannor bildas i regel mycket lite termisk NO_x då förbränningstemperaturen är för låg. Prompt NO_x är generellt av mindre betydelse vid förbränning. (Wester, L., 2002)

Av erfarenhet går det att förutsäga utsläppen av NO_x från en viss panna med ett visst bränsle, men det går inte för närvarande att beräkna mängderna med kemiska beräkningar. (Wester, L., 2002) En kväveatom kan innan den når skorstenen som NO eller kvävgas (N₂), delta i upp till 40 olika reaktioner. Beroende på vilken eldningsanordning som används samt vilket bränsle som förbränns, fås olika höga utsläpp av kväveoxider. Generellt sett ger pulveriserade bränslen högre NO_x-utsläpp än fasta bränslen, oavsett förbränningsanordning. I kraft- och värmeverk ger olja och naturgasförbränning högre NO_x-utsläpp än trädbränsle, kring ca 100 mg NO₂/MJ för olja och naturgas, jämfört med ca 50 mg NO₂/MJ för trädbränsle. Dessa data gäller för den allra bästa reningstekniken. Förhållandet mellan utsläppsmängderna av kväveoxider från olika bränslen gäller både för gammal och ny reningsteknik. (Wester, L., 2002)

3.4 NO_x-reduktion

Reduktion av NO_x kan ske genom primära och/eller sekundära åtgärder.

3.4.1 Primära åtgärder

Primära åtgärder för att minska NO_x-utsläppen från en förbränningsprocess innebär att hämma bildningen av NO_x. Detta kan ske på olika sätt; minskat luftöverskott,

sänkt förbränningstemperatur samt ändrad utformning av förbränningsrummet. Några vanliga åtgärder för att uppnå minskad NO_x -bildning är:

- Stegvis lufttillförsel
- Reburning
- Rökgasåterföring
- Låg- NO_x brännare

Genom att minska luftöverskottet i eldstaden, så att en stökiometri nära 1 eller strax under 1 erhålls, bildas mindre NO_x än vid överstökiometriska förhållanden. (Rudling, L., 2000) Speciellt låga NO_x -halter fås vid **stegvis lufttillförsel** där luftfaktorn ökar med pannans höjd, från cirka 0,7 ovanför rostern till cirka 1,2 efter andra lufttillförsel (tertiärluft). (Landtblom, M., Malmgren, A., 2001)

En speciell typ av stegförbränning är **reburning** som också innebär att förbränningen sker med lufttillförsel i flera steg men med en extra tillsats av bränsle i ett andra steg. Det andra bränslet måste inte vara samma som det första. (Wester, L., 2002)

Eftersom syretillgång och temperatur i pannan är avgörande för mängden bildad NO_x är **rökgasåterföring** ett sätt att sänka förbränningstemperaturen utan att samtidigt få för mycket syre i pannan. (Wester, L., 2002)

Ytterligare en primär åtgärd för att minska utsläppen av NO_x från en panna är genom användning av **låg NO_x -brännare**. Denna metod används till olja och kol samt träpulver. (Eklund, A., 2002)

3.4.2 Sekundära åtgärder

Sekundära åtgärder innebär reduktion av redan bildad NO_x . Reduktion av NO_x genom rökgasrening för att reducera utsläppen av NO_x till atmosfären kan ske med många olika tekniker. Rökgasreningsteknikerna kan delas in i torra och våta processer och är ett teknikområde under stark utveckling. (Wester, L., 2002)

Våta processer:

- Absorption av NO_x i en lösning följt av reduktion eller oxidation
- Oxidation i gasfas av NO till NO_2 och absorption i en lösning följt av reduktion eller oxidation.

Torra processer:

- Sorption
- Icke katalytisk reduktion, SNCR (Selective Non-Catalytic Reduction)
- Katalytisk reduktion, SCR (Selective Catalytic Reduction)

Absorption är en process som innebär att gas, vätska eller en energiform tränger in i och upptas av ett ämne. (NE, 2007-04-28)

Oxidation i gasfas där NO omvandlas till NO₂ följt av absorption i en lösning och därefter reduktion eller oxidation vilket minskar totala utsläppen av NO_x.

Sorption innebär fysikalisk bindning av atomer eller molekyler till en yta. (NE, 2007-04-28)

3.4.2.1 SCR

SCR teknik, står för Selective Catalytic Reduction, och innebär NO_x-reduktion med katalysator. En katalysator gör att NO_x-reduktionen kan ske vid andra temperaturer än som krävs för spontan reaktion. Med en SCR-anläggning renas NO_x-emissionerna genom tillförsel av NO_x-reducerande medel i en katalysator placerad i rökgasen efter eldstaden, i ett temperaturintervall på 300-400 °C. Med SCR-teknik kan en reduktionsgrad på ca 80 % fås. (Wester, L., 2002) Dock finns det en del problem förknippade med SCR-teknik, speciellt vid förbränning av biobränslen. Problemen består i att katalysatorn snabbt får beläggningar som gör att kapaciteten att rena NO_x avtar. SCR-anläggningar är idag också kostsamma, vilket ytterligare är ett hinder för SCR-tekniken. Andra problem som kan uppstå hos en SCR-katalysator vid förbränning av biobränslen är; förgiftning, erosion och sintring. (Aurell, J. et al, 2005) På grund av problemen minskar den katalytiska aktiviteten vid förbränning av skogsbränslen med ca 30 %. Speciellt energiskog har ibland höga halter av alkalimetaller. (Aurell, J. et al, 2005) Viktigt vid utredning om installation av katalysator är alltså analys av hur den aktuella blandningen av (bio)bränslen ser ut (salix, bark, flis och sågspån) vilket påverkar igensättningsgraden hos katalysatorn. Salix innehåller ibland höga halter av alkali som ger negativ påverkan på reduktionsgraden hos en katalysator. (Aurell, J. et al, 2005)

3.4.2.2 SNCR

SNCR teknik, står för Selective-Non-Catalytic Reduction, och innebär tillförsel av reduktionsmedel för NO_x inne i eldstaden. Reduktionsmedel för NO_x kan bland annat vara urea, ammoniak eller ammoniumsulfat. Reduktionsmedlet tillförs rökgaserna vanligtvis i samband med lufttillförsel. Det görs för att få en så bra omblandning mellan rökgaserna och reduktanten som möjligt. Då temperaturprofilen i eldstaden varierar med pannans last, och eftersom en särskild temperatur krävs för spontan reaktion mellan NO_x och reduktant, har en panna ofta flera olika nivåer med möjlighet till tillförsel av reduktionsmedel. (Wester, L., 2002)

Med SNCR-teknik kan den bildade mängden NO_x reduceras med ca 40-60 %. (Petro Miljö AB, 2007-05-15) Det sker då enligt följande reaktionsformler:



Ovanstående reaktionsformler sker då temperaturen är minst ca 850°C. (Burmeister & Wain Energi A/S, 1994)

Vid alltför höga temperaturer förbränns NH_3 till N_2 och H_2O utan att omvandling av NO_x :en sker, alternativt att NH_3 omvandlas till NO_x .

Omvandlingen av NO_x till kvävgas och vatten, sker som bäst vid höga temperaturer, där den relativa nivån av oreagerad NH_3 är låg. En viss NH_3 -förlust, så kallad slip, som härrör från NH_3 -tillförsel utan reaktion med NO_x , måste dock alltid accepteras. Även om all NH_3 -tillförsel till en förbränningsprocess stängs av, kommer en naturlig NH_3 -slip att fås. Denna slip bildas genom förbränningsprocessen i sig och varierar med förhållandena i pannan. (Wester, L., 2002) Erfarenhetsmässigt varierar slipen med lasten och kan uppgå till ca 10 ppm. (Johansson, H., 2007)

Ej omvandlad NH_3 strömmar ut med rökgaserna eller absorberas i rökgaskylarens kondensat, om sådan finns, och skapar därmed en begränsning på den NH_3 som kan tillföras eldstaden. Gränsvärdet för NH_3 -utsläpp ligger på 5 ppm. I många styr- och reglersystem för SNCR, sker regleringen beroende på just NH_3 -slipen. Blir slipen för hög kommer NH_3 -tillförseln automatiskt att dras ned, exempelvis genom att varva ned pumpen. (Burmeister & Wain Energi A/S, 1994)

Generellt är det enklare att reducera andelen NO_x i ett system, om mängden NO_x (i ppm) från början är stor. Ju lägre ursprungliga mängder NO_x man har i ett system, desto svårare är det att minska utsläppen. (Hiltunen, M., 2007-02-22)

Som tidigare nämnt beror mängden bildad NO_x från en förbränningsprocess på förbränningsanordningen och bränslet. Eftersom NO_x -utsläppen efter rening, vid förbränning av trädbränsle ligger lägre än andra bränslen, oavsett om ny eller gammal reningsteknik används, kan det antas att också mängden bildad NO_x i pannan är mindre. Det innebär att det är svårare att minska NO_x -utsläppen i trädbränsle-eldad panna än i en olje- eller naturgaseldad panna. (Wester, L., 2002)

De vanligaste sekundära teknikerna för att rena NO_x är via SNCR- eller SCR-system. Det finns även en kombination av dessa tekniker som kallas "tail-end". Katalysatorn är då placerad i slutet av rökgasernas väg till skorstenen, därav namnet tail-end. Med tail-end tekniken måste rökgaserna förvärmas innan katalysatorn, som kräver en temperatur kring 300-400°C.

3.4.3 Rökgaskylare (RGK)

När rökgaserna lämnar eldstaden och fortsätter vidare via överhettare, kan SNCR-systemet inte längre påverka NO_x -utsläppen, då kan inte fler reaktioner mellan NH_3 och NO_x ske eftersom temperaturen hos rökgaserna snabbt sjunker efter eldstaden. Rökgasrening, med en rökgaskylare (RGK) är en teknik som främst används för att utvinna den kvarvarande värmen i rökgaserna och på så sätt få ut mer energi ur bränslet. RGK används också till att tvätta ur rökgaserna till en del, speciellt NO_x -halterna kan minskas. Det sker genom att ammoniak-slipen faller ut i en cirkulerande fluid som sprutas över rökgaserna. Speciellt stor betydelse har RGK för hur mycket

ammoniak som kan tillföras till en panna eftersom processen tvättar ur NH_3 från rökgaserna med upp till 20 ppm eller 80 %.

4 Anläggningsbeskrivning

ENA Energis kraftvärmepanna byggdes år 1994 och är en vibrationsrosterpanna. Kraftvärmepannan är den huvudsakliga pannan i ENA Energis anläggning och har tillräckligt stor effekt för att producera fjärrvärme till Enköpingsborna ned till en utomhustemperatur på ca -15°C . Vid lägre temperaturer startas en pelletspanna. Anläggningen innefattar även en ackumulatortank.

Fakta kraftvärmepannan:

Pannan: 80 MW_t varav 55 MW värme och $22,5\text{ MW}$ el

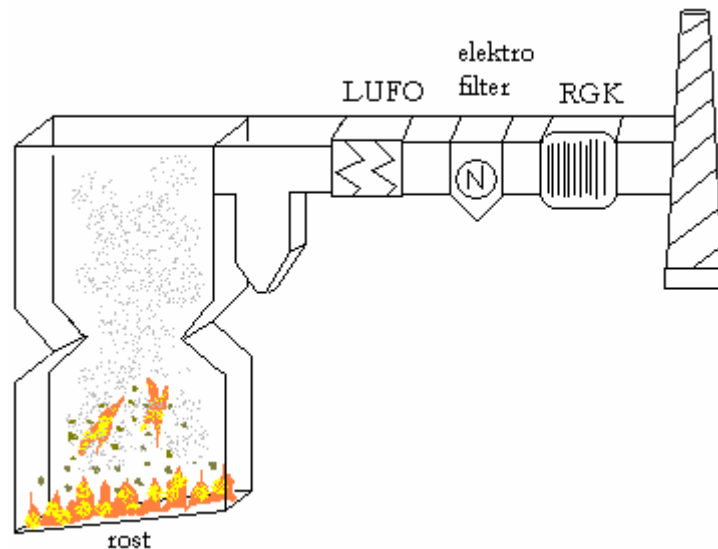
Ångdata: 540°C , 102 bar

Bränsle kapacitet: 31 ton/h, 45 % fukthalt

Eldstads geometri: höjd/bredd/djup: 17/8/5,5 m

Antal drifttimmar per år: ca 6000 h

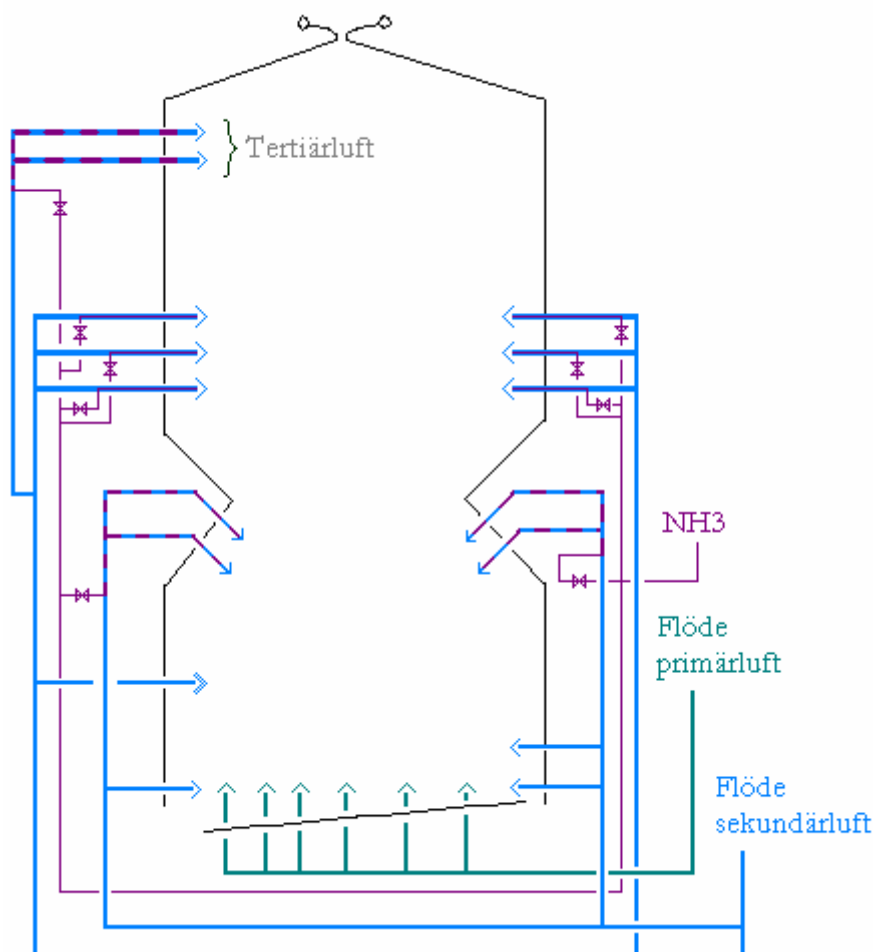
Total årlig produktion: ca 300 GWh



Figur 5: Principiellt flödesschema rökgaser, kraftvärmepannan. Bild: Egen.

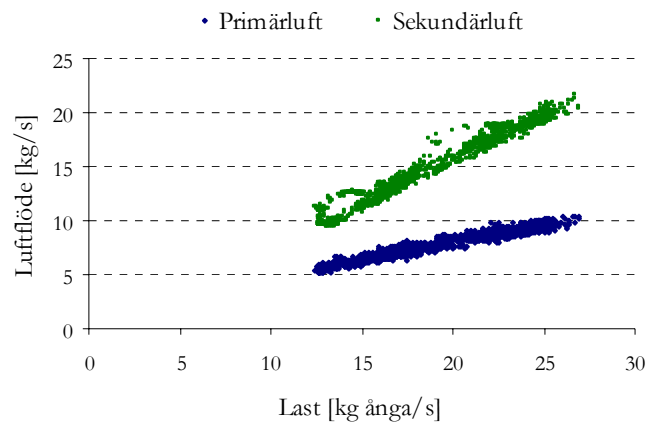
Bränslet tillförs rosterpannan genom 4 skruvar som matar in bränslet. Samtidigt tillförs luft så kallad spreaderluft, för att bränslet skall åka så långt in i pannan som möjligt. Bränslet matas in från vänster i Figur 5. Efter näsan, där pannan är smalare, ökar rökgasflödet och rökgaserna leds vidare genom överhettare, economiser, luftförvärmare (LUFO), elektrofilter och eventuellt rökgaskylare innan de når skorstenen. På insidan av pannväggarna går det tuber med vatten som värms upp och leds in i en ångdom som skiljer ångan från vattnet. Ångan leds sedan genom överhettare och blir på så sätt överhettad ånga. Därefter leds ångan genom turbinerna och slutningen kondensorn innan energin i ångan har blivit el och fjärrvärme. En del av värmen kan också fås via rökgaskylaren. (Johansson, E., 2007) Luft tillförs till kraftvärmepannan som tidigare nämnt på olika nivåer som primär-, sekundär- och tertiärluft. När rostern vibrerar var 7:e min tillförs samtidigt extra mycket (primär) luft, se Figur 6. Till vissa luftflöden tillförs ammoniak (NH_3) innan

eller samtidigt som luften tillförs pannan, vilket utgör pannans NO_x -reduceringssystem (SNCR-system), se utförligare beskrivning i 4.2. I kraftvärmepannan finns det även två gas-/oljebrännare som framförallt används vid uppstart. De kyles med en blandning av rökgaser och luft.



Figur 6: Lufttillförsel i eldstaden samt SNCR-system. Bild: Egen

Till varje luftinsprutning (pil i figuren ovan) hör ett spjäll som regleras genom att justera läge från kontrollrummet. Totalluftmängden är dock alltid densamma vid konstant last. Totalluftmängden fördelas på primärluft (~33 %) och sekundärluft (~67 %), varav den största andelen (51 % av totalluften) fördelas i den del av sekundärluften som tillförs i nedre delen av pannan. Den totala mängden luft in till pannan varierar beroende på last. Figur 7 nedan visar förhållandet mellan last och luftflöde in till pannan.



Figur 7: Förhållande mellan last och luftflöde. Data: PGIM

Lasten kännetecknas av ångflödet. Ju högre last desto större mängd luft krävs för förbränningen. Här syns också hur de olika luftflödena förhåller sig till varandra sinsemellan. Flöde primärluft (♦) är mindre än flöde sekundärluft (■). Båda följer på ett tydligt sätt lasten.

4.1 Drift av anläggningen

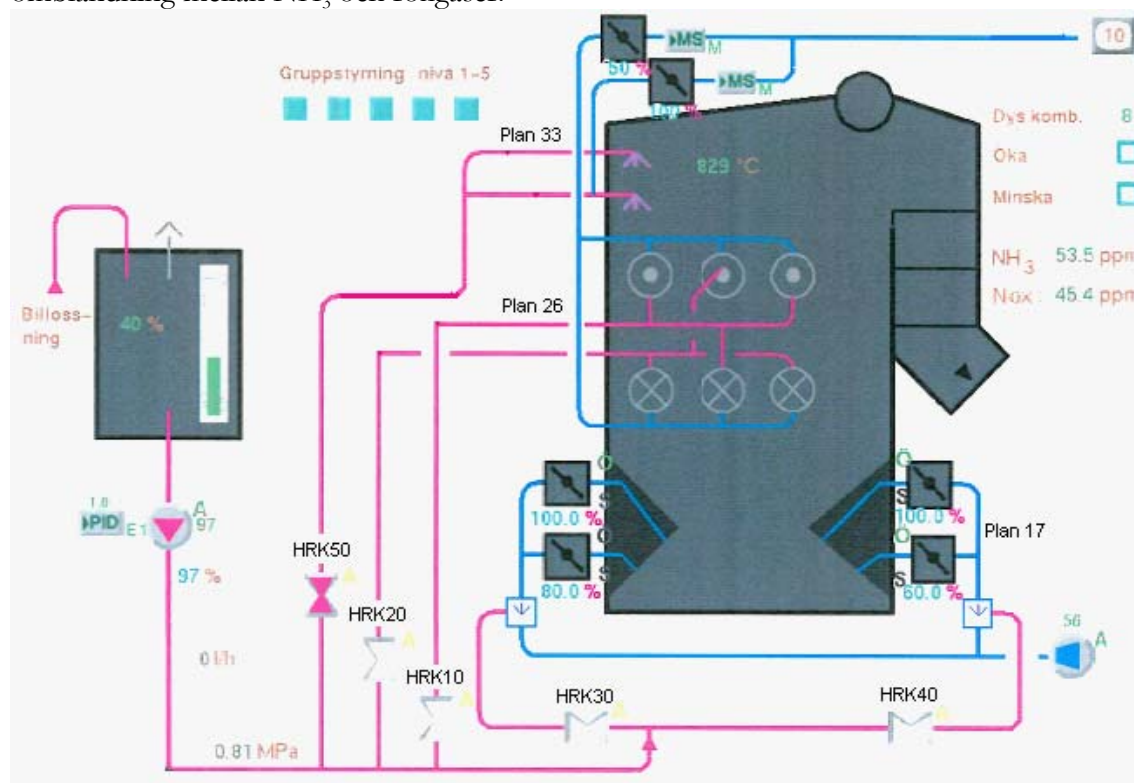
En kraftvärmeanläggning ger både el och värme. Hur mycket el som kan produceras styrs av värmeunderlaget, dvs. kundernas värmebehov. I planeringen av den veckovisa driften ingår analys av värmeunderlag samt elpriser, vilket görs mot Nordpool. Två viktiga komponenter vid planeringen är ackumulatortanken och rökgaskylaren som ingår i ENA Energis anläggning. Ett mycket litet eller ett mycket stort värmebehov tillsammans med höga elpriser, kan göra att man väljer att inte köra rökgaskylaren, eftersom den tar bort en del av värmeunderlaget genom att ytterligare ta till vara värme. (Johansson, E., 2007) Minskat värmeunderlag leder till minskad möjlighet till elproduktion.

Den dagliga driften av anläggningen styrs av gränsvärdet på kolmonoxid (CO) och NO_x-halt. CO får inte överstiga 160 mg/MJ och höga NO_x-utsläpp leder till kostnader för företaget. För att klara gränsvärdet på CO, måste samtidigt syrehalten (O₂) övervakas. (Johansson, H., 2007) En svårighet i optimeringen ligger i att CO och NO_x är omvänt proportionella; för att få låga NO_x-utsläpp är det önskvärt med ett så lågt syreöverskott som möjligt, men ett lågt syreöverskott innebär samtidigt att det bildas mer CO.

4.2 SNCR-systemet

4.2.1 Funktion.

SNCR-systemet har fem ventiler, HRK10, HRK20, HRK30, HRK40 och HRK50, se Figur 8, som kan regleras för att tillföra NH_3 till eldstaden. Detta kan ske på tre nivåer i pannan. Två av nivåerna ligger inom området för sekundärluft och den översta ligger inom tertiärluftområdet. Det finns två olika sätt att spruta in NH_3 till pannan; direkt insprutning av NH_3 i pannan respektive insprutning med NH_3 -blandad luft. Där det sker direktinsprutning av NH_3 (plan 26) finns det tillförsel av förbränningsluft i anslutning till ammoniakinsprutningen för att uppnå en god omblandning mellan NH_3 och rökgaser.



Figur 8: Förenklad bild av SNCR-systemet med magnetventiler HRK10, 20, 30, 40 och 50. Bild: Justerad displaybild från övervakningssystemet, se Appendix 11.

Alla delar i det befintliga NO_x -reduceringssystemet byggdes inte ursprungligen, NH_3 -tillförseln på plan 33, se Figur 8, tillkom efter en säsongs drift av anläggningen. I princip kan ammoniakinsprutning tillsättas var som helst i luftsystemet in till pannan, under förutsättning att det finns ett visst luftflöde. I det befintliga luftsystemet för ammoniak krävs ett luftflöde på 20 % av maximal kapacitet för att kunna tillsätta NH_3 . Vid för litet luftflöde kan NH_3 verka korroderande på kanalmaterialet.

4.2.2 Reglering

I dagsläget regleras ammoniaktillförseln via NH_3 -slipen, dvs. utsläppet av ren ammoniak (NH_3) i utgående rökgaser, som inte får överskrida 5 ppm i skorstenen. Är NH_3 -slipen lägre än 5 ppm, varvar ammoniakpumpen upp och mer ammoniak tillförs pannan. Vilka ventiler som används för ammoniaktillförseln regleras däremot manuellt. Som tidigare beskrivet så kan NH_3 tillföras på ett par olika nivåer i eldstaden. Det sker genom att ventilerna HRK10, HRK20, HRK30, HRK40 och HRK50 har status öppen eller stängd. Genom att i kontrollrummet ändra på statusen för en ventil, skickas en signal som öppnar (eller stänger) ventilen och ammoniaken tillförs. Det är möjligt att fritt kombinera en eller flera av ventilerna samtidigt. (Johansson, H., 2007)

4.2.3 Ammoniak (NH_3)

Som reduktionsmedel i SNCR-anläggningen används ammoniak med 25 % koncentration. Åtgången av ammoniak beror av lasten. Vid fullast kan åtgången av ammoniak uppgå till 70-80 l ammoniak per timme jämfört med ca 10 l/timme vid låg- och mellanlast.

Inköp av ammoniak sker tankvis. Anläggningens tank rymmer 40 ton ammoniak, precis lika mycket som tankbilen rymmer. Priset på ammoniak varierar med mängden, där en större mängd (en hel tank), ger ett lägre specifikt pris (kr/l), än delmängder. Det tillsammans med att förbrukningen varierar med lasten gör att ammoniaken ibland hinner ta slut innan ammoniakleveransen kommer, vilket ger tillfälligt höga NO_x -utsläpp. (Lundvall, M., 2007) NO_x reduktionen beräknades vid ett sådant tillfälle till 38 %, se Tabell 2.

Tabell 2: NO_x -reduktion till följd av NH_3 tillförsel. Data: PGIM.

NO_x -reduktion [mg/MJ]	Värde min	Värde max	Medelvärde
NO_x -utsläpp 28/1-2007 med ammoniakinsprutning	50,3	78,3	64,3
NO_x -utsläpp, 28/1-29/1 2007 utan ammoniakinsprutning	91,6	115,9	103,75
Reduktion till följd av NH_3 [%]			38

Reduktionsnivån varierar dock och vid en annan last uppmättes reduktionen av NO_x till 63 %. Driftsäsongens alla reduktionsnivåer, varierade mellan 24-66 %. Alla reduktionsgrader återfinns i Appendix 3. Förhållandet mellan NO och NO_2 var konstant vid dessa tillfällen, varför reduktionsgraden blir densamma oavsett om NO_x eller NO används.

5 Pannans karaktärstika

5.1 Uppehållstid i pannan

En teoretisk uppehållstid i pannan kan beräknas med hjälp av rökgasflödet samt pannans storlek. Mängden rökgaser varierar naturligtvis med lasten vilket innebär att det blir en viss variation i uppehållstid beroende på lastens storlek.

Tabell 3: Uppehållstid i pannan. Data: PGIM

	Last [kg ånga/s]	Rökgasflöde [km ³ /h]	Temperatur i eldstaden [K]	Uppehållstid i pannan [s]
Hög last:	24,1	242,95	1248	2,5
Låg last:	6,3	50,29	1521	14,3

Värdena ovan skall ses som ungefärliga. Vid höga laster minskar syrehalten i pannan ned till ungefär 3 %. En anpassning till detta har gjorts i beräkningarna. Värdena har dessutom justerats till en approximerad medeltemperatur i eldstaden. Uppehållstiden är beräknad på hela pannvolymen och varierar som tabellen visar mellan 2,5-14,3 s. Antas en volym stor som tvärsnittsarean i pannan samt en meter i höjd för reaktionscenter mellan NH₃ och NO_x, fås ungefär 1/17 del av dessa värden, 0,15-0,84 s. (Pannans höjd är 17 m)

5.2 Turbulens i pannan

Turbulensen eller omblandningen av rökgaser inne i eldstaden ökar efter näsan som har till funktion att öka rökgashastigheten. Precis som vatten som flödar i en fors, kommer också rökgaserna att bli turbulenta och påverkas av hinder. Det gör att det kan skapas stråk i pannan där koncentrationen av olika gaser kan bli högre eller lägre. Mindre stråkbildning eller bättre omblandning i eldstaden skulle öka förutsättningarna för en bättre NO_x-reduktion. En homogen omblandning av förbränningsrökgaserna är avgörande för låg NO_x. (Moberg, G. et al, 1996)

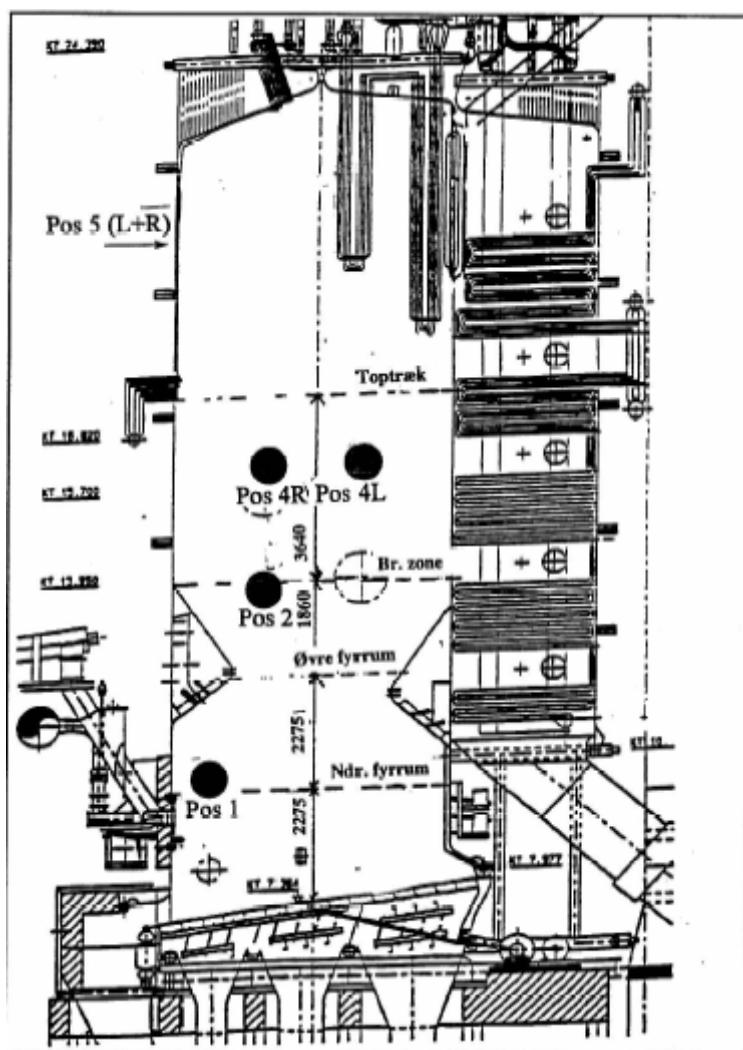
De mätningar (Hansen, J. et al., 1997) inne i pannan som har gjorts visar tendens på stråkbildningar, det kan man se på att temperaturen samt koncentrationen av vissa gassammansättningar på samma höjdnivå men i olika positioner skiljer sig åt. Detta samband är ihållande även vid andra laster, dvs. stråken som uppstår är ganska skarpa och kvarstår trots ökad rökgasmängd när lasten ökar.

5.3 Temperaturfördelning i eldstaden

Temperaturen i eldstaden har avgörande betydelse för NO_x-reduktion. Som nämnts tidigare (se 3.4.2.2), krävs en temperatur på ca 850 °C för att de NO_x-reducerande reaktionerna skall ske spontant. År 1996 gjorde Technical University of Denmark och konsultbolaget Burmeister & Wain Energi A/S en del mätningar inne i eldstaden i ENA Energis kraftvärmepanna (Hansen, J. et al., 1997). I pannan, som då var

relativt ny, mättes gaskoncentrationen av vissa gaser, lambda-värden och temperaturer för lasterna 27 MW_e, 80 MW_e samt 87 MW_e. Mätningarna gjordes i ett antal utvalda mätpositioner; pos1, 2, 4R, 4L, 5R och 5L, se Figur 9 som visar kraftvärmepannan med utmärkta mätpositioner i eldstaden. Det egna mätsystemet i ENA Energis kraftvärmepanna är begränsat till mätningar före och efter eldstaden, vilket gör att själva förbränningsprocessen blir en "black box". Detta gör att de tidigare utförda mätningarna inne i pannan blir mycket intressanta.

Beteckningen "KT" innebär nivå och mäts i meter ovan bottenplan som ligger på plan 11. Det innebär att position 4R och 4L ligger på plan 26 och att position 5R och 5L ligger på plan 33. Detta är samma nivåer som för SNCR-systemet.

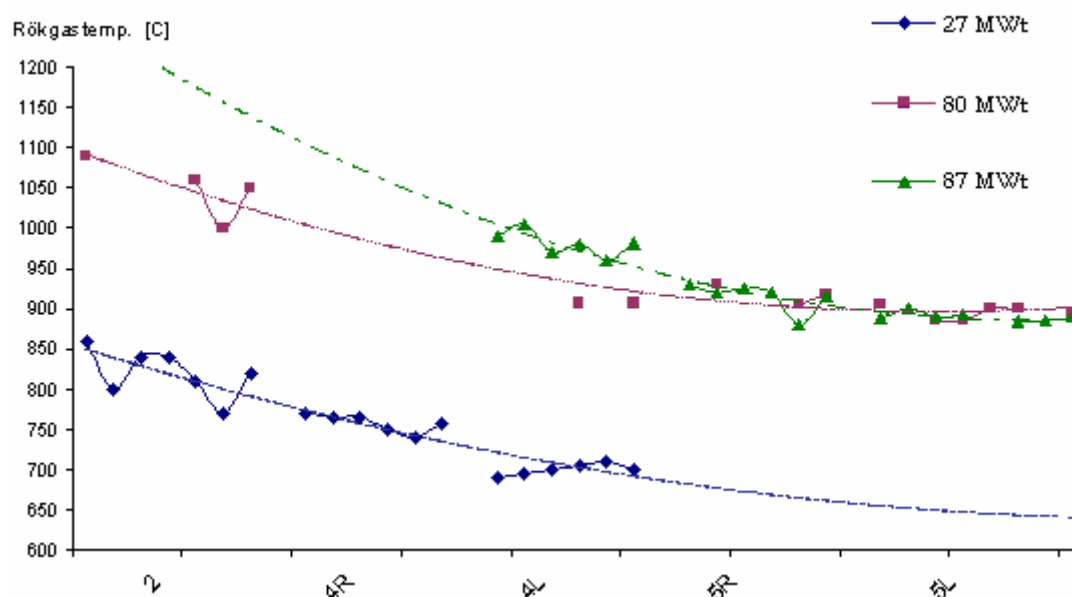


Figur 9: Mätpositioner i kraftvärmepannan för mätning av gasegenskaper.
Källa bild: Hansen, J. et al., 1997

Resultat från temperaturmätningarna inne i pannan tillsammans med medelvärden från varje mätpunkt finns bifogat i Appendix 6. Mätningarna utfördes samtidigt i tre eller fyra av de sex mätpositioner som presenteras i Figur 9. Mätningarna gjordes från

olika avstånd från pannväggen och på så sätt erhöles flera mätvärden för varje position.

För att få en uppfattning om hur temperaturen ser ut i de mätpunkter som inte uppmättes, har de i den här rapporten anpassats med en andragradspolynomkurva. Detta gjordes genom att först analysera mätningen vid lasten 80 MW_t eftersom att den mätningen utfördes genom mätning i flest mätpositioner samtidigt. (Se Figur 10). Det visade sig att sambandet mellan mätpunkterna bäst beskrevs med ett andragradspolynom. Därefter antogs det att de andra temperaturkurvorna hade samma utseende. I Figur 10 nedan visas mätresultaten för temperaturmätningarna inne i eldstaden, tillsammans med polynomanpassningen.



Figur10: Rökgas temperatur i olika mätpositioner med en 2' polynomanpassning.

Källa: Egen figur utifrån data från Hansen, J. et al., 1997

Mätresultaten visar att temperaturen hos rökgaserna på olika höjdnivåer i pannan skiljer sig åt beroende på last. Temperaturen är som högst närmast rostret, för att minska med pannans höjd. Som Figur 9 visar, så finns ingen inbördes höjdskillnad mellan position 4L och 4R respektive mellan position 5L och 5R. Skillnad i uppmätta värden på temperaturen mellan position 4R och 4L återkommer även för andra sorters mätningar, exempelvis syrehalten. Detta är en intressant företeelse som diskuteras mer under 5.4.

Observera att temperaturen i eldstaden är uppmätt från position 2 (ovanför näsan) och uppåt längs pannan. Temperaturen innan näsan bör teoretiskt först vara lägre, medan bränslet torkas och förgasas, för att sedan öka där bränslet förbränns. Detta eftersom torkning och förgasning är energikrävande processer. (Alvarez, 2003)

27 MW_t är en mellanlast medan 80 MW_t samt 87 MW_t är extremt höga laster som inte körs. Då mätningar har gjorts för mycket hög last, skulle dessa värden kunna

användas för att approximera utseendet för andra höga och mellanhöga laster. Typiskt intressant är vanliga laster som 40, 50 samt 60 MW_t.

Om en rät linje dras vid 850°C i figuren ovan, eller vid ett temperaturintervall mellan 850 – 950°C, så hamnar detta temperaturområde vid mätpositionerna 5R och 5L, dvs. ungefär vid plan 33 i pannan, vid lasterna 80, 87 MW_t. Alltså borde det teoretiskt vara där som tillförsel av NH₃ borde ske för att uppnå optimal reduktionen av NO_x.

På samma sätt hamnar temperaturområdet vid eller strax innan mätposition 2 vid lasten 27 MW_t, vilket innebär att NH₃ då borde ge optimal reduktion av NO_x genom att tillföras på plan 17 eller på plan 26.

5.3.1 Mätmetod temperaturmätningar

I rapporten (Hansen, J. et al., 1997) beskrivs att temperaturmätningarna utfördes genom att extrahera rökgas ur pannan med hjälp av en vattenkyld gas-pyrometer. Om mätning av temperaturen i pannan sker med en termometer, eller med ett så kallat termoelement som krävs vid mycket höga temperaturer, så mäts termoelementets temperatur och inte gasens temperatur, ty termoelementet mäter strålningsvärmets och inte den faktiska gastemperaturen. Av denna anledning kan de värden som befintliga termoelement i pannan ger, inte användas för att mäta gastemperaturen, dvs. NO_x-temperaturen. Skulle tillräckligt mycket data finnas, skulle det eventuellt gå att ta fram en kurva för hur gastemperaturen och termoelementets temperatur skiljer sig. Då mätvärden i PGIM endast finns lagrade från september 2004 och man inte under den tiden kört pannan på så hög last som vare sig 80 MW_t eller 87 MW_t, kan detta förhållande inte tas fram.

Vid lasten 27 MW_t skiljer sig mätvärdena som nedan:

Tabell 4: Temperatur termoelement vid lasten 9,27 kg ånga /s ↔ 27 MW_t. Data: PGIM

Termoelement	T1	T2	T3
Temp [°C]	539	539	538

Motsvarande värden vid mätning med gas-pyrometer vid 27 MW_t var:

Tabell 5: Temperaturmätning med gas-pyrometer vid lasten 27 MW_t. Data: Hansen, J. et al., 1997

Mätvärden position 4R, 4L	Medelvärde			
Temp [°C]	710	690	770	740
	727,5			

Skillnaden mellan mätmetoderna, dvs. mellan termoelementen och den faktiska temperaturen, uppgår till 727,5 – 538,7 = 189 °C. Detta värde skall dock ses som ett ungefärligt värde och kan endast med säkerhet användas för jämförelse vid lasten 27 MW_t och eventuellt närliggande laster.

Mätningarna (Hansen, J. et al., 1997) gjordes som tidigare nämnt från olika avstånd från pannväggen. Mät djupet varierade mellan ca 50 – 250 cm mätt från pannväggen.

Mycket nära pannväggarna påverkas gasernas temperatur av strålningsvärme och av denna anledning gjordes inte några mätningar närmare pannväggen. För fullständig data, se Appendix 5. I den här rapporten används medelvärden från mätningarna se Appendix 6.

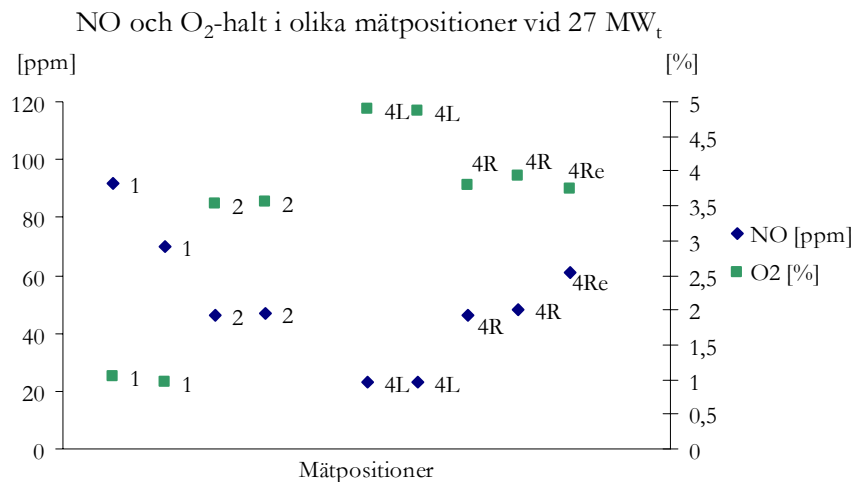
Skillnaderna på temperaturprofilen mellan lasten 80 MW_t och lasten 87 MW_t, är av naturliga skäl mindre än skillnaden i temperaturprofil mellan lasten 27 MW_t och 80 MW_t. Fler mätpunkter för varje last och mätning av temperaturen för fler uppmätta laster, än de ovan presenterade, gjordes inte inom ramen för rapporten (Hansen, J. et al., 1997), men det hade varit av stort intresse att även ta del av mätningar vid någon eller ett par mellanlaster samt vid ännu fler mätpositioner samtidigt. Vad som inte framgår av rapporten (Hansen, J. et al., 1997), men som kan antas är att mätutrustningen var begränsad till fyra gas-pyrometrar och att det är anledningen till att mätningar endast gjordes i fyra mätpositioner samtidigt.

5.4 Syrehalt

O₂-halten i pannan varierar beroende på last. Ju högre last desto större lufttillförsel till pannan för att få tillräckligt mycket syre i panna så att bränslet skall hinna förbrännas. Vid låga laster är syrehalten förhållandevis högre för att upprätthålla en god förbränning. För låga syrehalter i pannan leder till att förbränningen blir ofullständig vilket är icke önskvärt eftersom det innebär en sämre förbränningsverkningsgrad på pannan samt leder till hög askhalt och höga CO-utsläpp. Hög syrehalt leder till hög NO_x. Mängden syre måste därför anpassas efter ett flertal olika parametrar för att få optimalt förbränningsresultat. Även vid eldning med luftöverskott kan det finnas stråk med lokal syrebrist som ger höga CO-utsläpp.

Mängden NO_x och mängden CO som bildas i pannan är omvänt proportionella. Generellt gäller att ju högre CO-utsläpp desto lägre NO_x-utsläpp. CO-halten i rökgaserna är den främsta driftvariabeln. Då CO-halten är kritisk, måste syrehalten anpassas så att CO-utsläppen hela tiden ligger under tillåtna värden. Av den anledningen varierar O₂-halten inte speciellt mycket utan ligger ganska stabilt mellan 3-6 % strax efter eldstaden. Efter eldstaden ökar syrehalten med ett par procent innan skorstenen. Undertryck i rökgaskanalerna gör att luft läcker in.

Sambandet mellan O₂-halt och NO åskådliggörs i Figur 11 nedan. Figuren visar en klar tendens till ett omvänt förhållande mellan NO och O₂-halt. En högre O₂-halt bör teoretiskt leda till en högre NO_x-halt. Dock mättes inte NO₂ vid dessa mätningar. Enligt teorin skulle en sådan mätning ha visat betydligt högre värden på NO₂ vid en speciellt hög O₂-halt. I position 4L är det troligt att just NO₂-halten var hög.



Figur 11: NO-halten [ppm] och O₂-halten [vol%] inuti eldstaden vid 27 MW_t.
Källa: Eget diagram utifrån data från Hansen, J. et al., 1997

Figur 11 ovan presenterar NO- och O₂-halt i olika mätpositioner (1, 2, 4L, 4R) samt vid olika djup in i pannan vid dessa. Värdena i Figur 11 ovan är medelvärden. Första mätvärdet vid varje mätposition är mätt djupast in i pannan, därefter närmare och närmare in mot pannväggen. I regel innebär det från ca 260 cm – 50 cm från pannväggen. Vid låg last (27 MW_t) tillfördes NH₃ på den mellersta nivån (plan 26) medan tillförseln av NH₃ skedde på mellersta och högsta nivån (plan 33) vid hög last (80, 87 MW_t). Prefixet ”e” innebär att NH₃-tillförsel var avstängd. Observera att mätposition 4R och 4L ligger på samma höjdnivå i pannan.

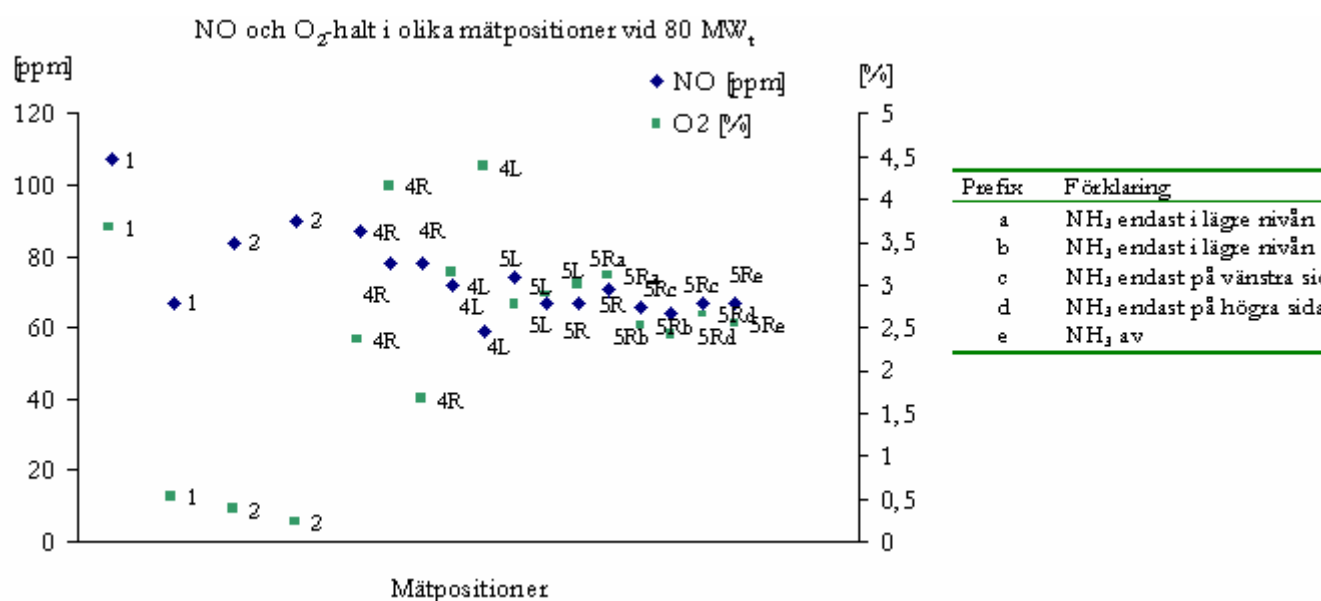
5.4.1 Stråkbildning

Rökgashastigheten är högre efter näsan och därmed borde omblandningen av rökgaserna också vara det, men mätresultaten från de uppmätta NO- och O₂-halterna visar på en markant skillnad mellan 4R och 4L. Position 4L har lägre NO-halt och högre O₂-halt medan position 4R har högre NO-halt men lägre O₂-halt. Omblandningen på plan 26, där dessa positioner ligger, borde vara så stor att skillnaderna utjämnas, men av resultaten att döma förekommer stråkbildning.

För att ta reda på hur olika stråk ser ut inne i pannan, skulle det behövas en modell över pannan, alternativt mer omfattande mätningar. Enligt en rapport (Wrangsten, L., 2001) beskrivs möjligheten att skapa en tillförlitlig matematisk och fysikalisk modell över pannan som mycket begränsade i dagsläget. För att kunna göra det krävs en exakt kännedom om bränslets egenskaper i realtid, dvs. kännedom om fukthalt och andel av varje bränsle precis när det matas in i pannan. Problemet med praktiska fullskala-mätningar i en så stor panna, är oftast att det under drift inte går att ”komma in” i pannan var som helst, eftersom insidan är täckt av tuber.

Vid lasten 80 MW_t ser mätresultaten annorlunda ut, se Figur 12. Vid mätningarna tillfördes NH₃ på plan 26, dvs. på samma nivå som mätpositionerna 4R och 4L.

Etiketten 4Re innebär att NH_3 -tillförsel var avstängd. Då NO-halten (\diamond) generellt minskar med höjden i panna, vilket var fallet både vid lasten 27 MW_t och vid 80 MW_t , skulle det kunna antas att en för tidig NH_3 -tillförsel skulle innebära tillförsel i onödan. Ett mindre försök visade dock en tendens till att det inte alltid stämmer. Försöket gjordes vid hög last, ca 75 MW_t , genom att ändra ammoniaktilförseln från tillförsel på plan 33 till tillförsel på plan 26 och sedan till tillförsel på både plan 33 och plan 26 samtidigt. NO_x -utsläppen var som lägst då ammoniak tillfördes på båda planerna samtidigt.



Figur 12: Mängd NO[ppm] samt O_2 -halt[%] inne i vid 80 MW_t

Om man jämför Figur 11 och Figur 12 som har samma skala, ser man snabbt att mätvärdena för lasten 80 MW_t generellt ligger högre än de vid lasten 27 MW_t . Vid lasten 27 MW_t varierar NO-halten mellan 23 ppm och 92 ppm och vid lasten 80 MW_t varierar NO-halten mellan 59 ppm och 107 ppm (för mätvärden se Appendix 5). Variationen i NO-halt är dessutom mindre vid den högre lasten vilket troligen beror på den högre omblandningen genom en högre rökgashastighet. Även mätvärdena vid lasten 80 MW_t visar en större skillnad i NO-halt vid position 1 än de övriga.

NO-halten i position 4R något högre än i position 4L men skillnaden är mindre än vid lasten 27 MW_t vilket bekräftar en större omblandningen. Vid lasten 80 MW_t , går det inte att se någon skillnad i mängd NO-utsläpp när NH_3 -tillförsel varierades på de olika tillförselnivåerna, samt inte heller när NH_3 -tillförseln är avstängd. Det innebär att NH_3 -tillförseln inte har någon verkan. Vad som inte framgår är hur NH_3 -slipen såg ut vid respektive mätning, vilket hade varit intressant att veta. Det kan antas att det hade blivit en lägre NH_3 -slip med NH_3 -tillförseln avstängd.

6 Beskrivning och analys av tester

6.1 NO_x-utsläpp från olika NH₃-tillförselpunkter i SNCR-systemet

Eftersom NO_x-utsläppen från ENA Energis kraftvärmepanna i regel har varit mycket låga, runt ca 30 mg/MJ vid mellan- och låg last, har höglast-fallen varit mer intressanta. När ett provprogram konstruerades och begränsades det därför till att testa mellanhög- samt hög last. På ENA Energi är det vanliga körsättet för ammoniaktilförseln att tillföra ammoniak högre upp i pannan ju högre lasten är. Erfarenheter har visat att om ammoniak tillförs för långt ned i pannan vid hög last, leder det till dålig NO_x-reduktion.

Som tidigare beskrivet (se 3.4.2.2) kan utebliven NO_x-reduktion med NH₃-tillförsel för långt ned (i höjddled) i pannan, ske på två sätt:

- NH₃ följer med rökgaserna ut ur pannan utan att reagera, dvs. en hög NH₃-slip fås
- NH₃ kan förbrännas till NO_x och därmed ge högre NO_x utsläpp

6.1.1 Syfte med provprogram

Syftet med att konstruera och köra ett provprogram, var att få en grundläggande uppfattning om vilken effekt olika inställningar av SNCR-systemets tillförselpunkter får på NO_x-utsläppen vid hög last.

6.1.2 Utförande av provprogram

Under en provningsvecka utfördes tre provprogram under 18 timmar vardera, löpande från midnatt till kväll. Uppbyggnaden av provprogrammen gjordes så att de tre olika nivåerna för ammoniaktilförsel; plan 17, plan 26 samt plan 33, systematiskt testades vid två olika laster, 17 kg ånga/s respektive 25 kg ånga/s. NH₃-flödet och ångflödet hölls konstant inom varje provprogram utom vid två speciella tillfällen vid lasten 25 kg ånga/s. De 18 timmarna fördelades mellan tillförsel på de olika nivåerna, med ungefär 1-3 timmar för varje test. Resultaten från första dagens mätningar låg till grund för följande mätningar osv.

På plan 26, där HRK10 och HRK20 är kopplade, har erfarenhet visat att det finns inbördes skillnad i NO_x-reduktionen mellan de två ventilerna. Av denna anledning var det intressant att försöka finna en optimal inställning av dessa. Varje ventil är kopplad till tre tillförselpunkter och optimeringen gjordes genom att ställa in olika kombinationer av de sex tillförselpunkter.

Ventil HRK50 testades två gånger per provprogram dag 1 och 2. Detta gjordes i början samt i slutet av provkörningarna för respektive dag. Då inställningar i luftflöden starkt kan påverka NO_x-bildningen, var det intressant att jämföra mellan

vilka värden som en ventilinställning, vid konstant last och konstant NH_3 -flöde, skiljer.

Vilken last samt vilket NH_3 -flöde som testades inom ramen för varje provprogram, presenteras i Tabell 6. Sambandet mellan last och ångflöde har presenterats i 3.1.

Tabell 6: Sammanfattning över provprogram

Provprogram	Last [MW _L]	Ångflöde [kg/s]	NH_3 -flöde [l/h]	Tid för mätning [h]
Dag 1	49	17	25	2-3
Dag 2	49	17	35	1-2
Dag 3	72	25	35	1-2

Fullständig information kring de provprogram som utförts återfinns i Appendix 4. Där framgår i vilken ordning som de olika testerna utförts samt antalet timmar varje test utfördes.

Som tidigare nämnt regleras ammoniaktillförseln med hjälp av 5 stycken magnetventiler, HRK10, 20, 30, 40 och 50, som styrs ifrån kontrollrummet. Från varje magnetventil delar flödet sedan upp sig till ett antal olika munstycken, se Tabell 7.

Tabell 7: Magnetventiler SNCR-systemet

Magnetventil	Antal tillhörande munstycken	Placering i pannhuset
(1) HRK10	3	Plan 26
(2) HRK20	3	Plan 26
(3) HRK30	1	Plan 17
(4) HRK40	1	Plan 17
(5) HRK50	3	Plan 33

Varje munstycke eller dysa kan sedan regleras manuellt på/av med en kulventil ute i anläggningen. Flödet kan även regleras till en viss flödesnivå (l/min) med en flödesmätare via vilken ammoniaken passerar. Detta innebär att SNCR-systemet kan anpassas till ventil och flöde alltefter vad som är mest optimalt för NO_x -reduktionen.

Optimeringsförsöket på plan 26 presenteras i Appendix 7. Generellt testades varje sådan inställning under minst en timmes tid.

En begränsning var att vid rådande utomhustemperatur, fanns det inte utrymme att köra anläggningen på så hög last som 25 kg ånga/s i mer än 8 timmar. Därför valdes de mest intressanta lägen ut för provning. Vid lasten 25 kg ånga/s gjordes även två kortare enskilda mätningar med ändrat ammoniakflöde, en med 45 liter per timme och en utan ammoniaktillförsel, 0 l/h. Detta gjordes för att kunna avgöra ungefär vilken inverkan ett högre ammoniakflöde skulle ha på NO -utsläppen respektive hur stor reduceringseffekten är vid den högre lasten.

Vid normal drift används inte konstanta flöden på NH_3 utan NH_3 -flödet styrs av NH_3 -slipen som i skorstenen får vara högst 5 ppm av miljöskäl. Det innebär att så

länge inte maxvärdet på NH₃-slipen har uppnåtts, ökar NH₃-flödet hela tiden och minskar sedan till ett mera konstant värde när maxvärdet nås. Mätningen på NH₃ i rökgaserna sker dock i verkligheten innan RGK, varför värdena ofta överstiger 5 ppm. RGK kan tvätta ur ammoniak i rökgaserna med upp till 20 ppm vid full effekt och således kan ett högre värde på NH₃-slip innan RGK accepteras. På ENA Energi brukar gränsvärdet ligga mellan 15-22 ppm i mätpunkten när RGK körs beroende på pannans last. (Johansson, H., 2007)

6.1.3 Resultat provprogram

De uppmätta värdena från provmätningarna presenteras i Tabell 8 nedan, för alla data se Appendix 8. Värden som presenteras i tabellen är medelvärden. Tabellen visar utsläpp av NO i ppm samt NH₃-slip ”NH₃ Rökgas” också i ppm vid de två olika lasterna samt vid de olika NH₃-flöden.

Tabell 8: Mätresultat av provprogram

Last 17 kg/s					Last 25 kg/s					
[ppm]	NO	NH ₃ rökgas	NO	NH ₃ rökgas	NO	NH ₃ rökgas	NO	NH ₃ rökgas	NO	NH ₃ rökgas
Ventil										
HRK10	60,6	14,5m	43,6	19,1h	85,5	2,8	87,1	5,4		
HRK20	69,0	3,9	64,8	3,2						
HRK30	86,3	2,5	82,1	2,4						
HRK40	83,4	2,4m	75,8	1,8						
HRK50	49,6	8,9	36,3	18,3						
HRK50	58,1	5,3	-	-						
HRK10 & HRK20	60,9	6,2	53,0	8,6						
HRK10 & HRK20	63,2	4,7	53,4	8,6m						
HRK10 & HRK20, 1 & 3 stängd	66,0	7,7	52,7	16,6						
HRK10 & HRK20, 2 bakre stängd	70,0	3,5	51,6	10,7						
HRK10, HRK20 & HRK50	-	-	48,1	7,1	92,3	2,6				
HRK30 & HRK40	82,0	2,9	83,7	1,7						
HRK10 & HRK50	50,8	8,9	39,7	16,4	90,7	3,2				
HRK20 & HRK50	-	-	46,3	5,3m						
Ingen ventil									102,2	2,8
NH ₃ -flöde	25 l/h		35 l/h		35 l/h		45 l/h		0 l/h	

m = något lägre ingående ärvärde på NH₃-flödet

h = något högre ingående ärvärde på NH₃-flödet

I tabellen ovan anges m och h för mätvärden där avvikelserna på NH₃-flödet har varit större än ± 1 l/h från det inställda börvärdet.

Resultatet visar tydligt NH₃-tillförselns betydelse vid lasten 25 kg/s. Avstängning av NH₃-flödet (0 l/h) gav det högsta uppmätta värdet på mängden utsläppt NO, 102,2 ppm under mätperioden. Vid samma last med ett högre ammoniakflöde (från 35 l/h till 45 l/h) är tendensen att en ytterligare reduktion av NO_x uppnås med ökat NH₃-

flöde men med en ökad NH_3 -slip. Syftet med mätningarna var dock inte att ta reda på det optimala NH_3 -flödet för en viss last, utan att jämföra olika tillförselpunkter med varandra dvs. olika ventilinställningar.

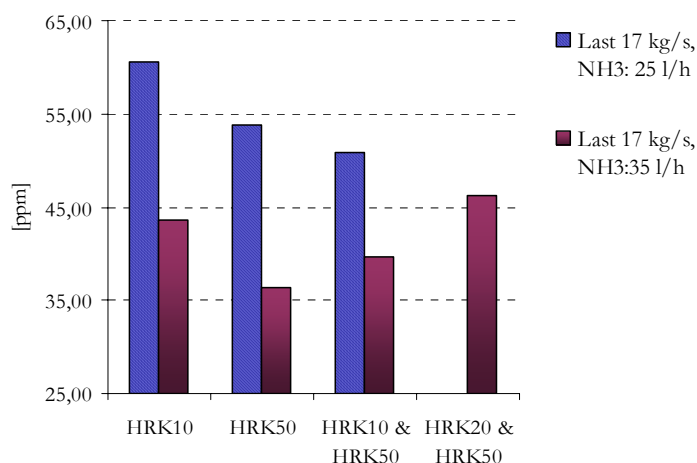
Mätresultaten visar generellt att NH_3 -tillförsel via ventilen HRK50, var den ventil som gav de lägsta NO-utsläpp för flest antal skiljda mätningar, men resultaten är inte glasklara. Även NH_3 -tillförsel via kombinationen av ventil HRK50 och HRK10 har visat sig ge bra NO-reduktion.

Generellt sett är går det inte att dra klara slutsatser av mycket små förändringar i mätningarna såsom vid optimeringsförsöket av HRK10 och HRK20 där olika kulventiler stängdes ute i anläggningen under pågående tester. Rekommendationen är därför att behålla alla ventiler kopplade till HRK10 respektive HRK20 öppna när respektive magnetventil körs.

För att förenkla för läsaren delas mer ingående resultat från provprogram in i plan 33, plan 26 samt plan 17.

6.1.3.1 SNCR plan 33

Av Tabell 8 framgår att NH_3 -tillförsel via ventil HRK50 samt via ventilerna HRK50 och HRK10 i kombination, ger bäst resultat vid de aktuella lasterna. Figur 13 nedan presenterar resultaten för kombinationer av NH_3 -tillförsel via ventil HRK50 (plan 33) samt för tydlighetens skull även resultatet från NH_3 -tillförsel via enbart ventil HRK10.

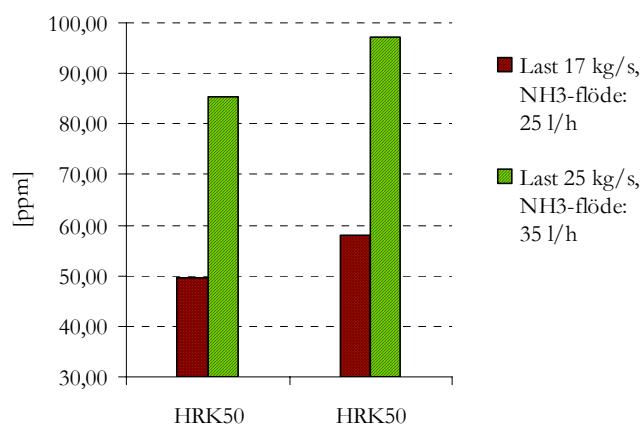


Figur 13: NO-utsläpp vid NH_3 -tillförsel via plan 33 (HRK50) och plan 26 (HRK10, HRK20) samt i kombination. Data: PGIM

Mätvärden för den högre lasten, 25 kg ånga/s, visas inte i diagrammet. NO-halten uppmättes vid den lasten endast för NH_3 -tillförsel via ventil HRK50 samt för kombinationen ventil HRK50 och ventil HRK10. NO-utsläppen var då mycket höga, 92,3 ppm för HRK50 samt 90,7 ppm för kombinationen av HRK50 och HRK10.

Vid lasten 17 kg ånga/s var NO-utsläppen med NH₃-tillförsel via ventil HRK10 högre än för ventil HRK50 samt för kombinationen av ventil HRK10 och ventil HRK50, oavsett NH₃-flöde.

Skillnaden i NO-utsläpp via NH₃-tillförsel via ventil HRK50 vid de två tillfällena, uppgick till 58,1-49,6 = 8,5 ppm vid lasten 17 kg ånga/s samt 97,2-85,5 = 11,7 ppm vid lasten 25 kg ånga/s. Det innebär en skillnad på 16 % respektive 13 %. Vid lasten 17 kg/s och NH₃-flödet 35 l/h gjordes inte detta test.

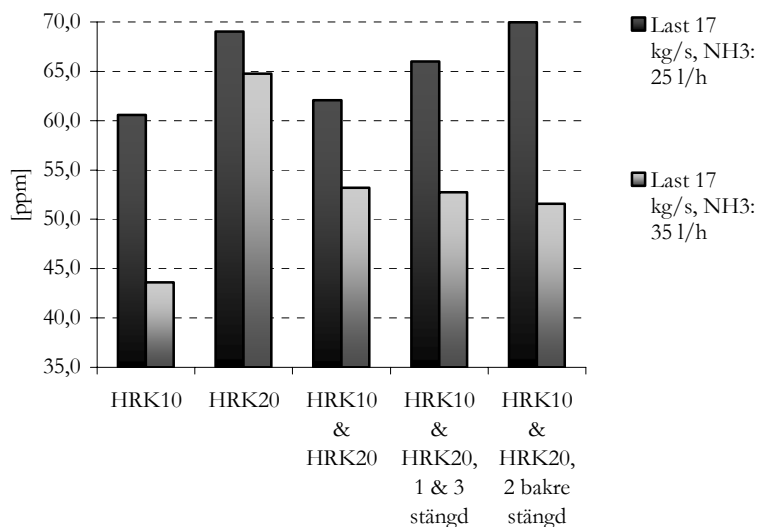


Figur 14: Skillnad i NO-utsläpp[ppm] vid upprepat test av ventil HRK50. Data: PGIM

- Kombinationen av ventil HRK10 och ventil HRK50 för NH₃-tillförsel, ger tillsammans med tillförsel via enbart ventil HRK50 de lägsta NO-utsläppen vid testerna.
- NH₃-tillförsel via kombinationen ventil HRK20 och ventil HRK50 ger sämre NO-reduktion än NH₃-tillförsel via kombinationen av ventil HRK10 och HRK50.
- Ur mätdata från provprogrammet kan inte avgöras om kombinationen av ventil HRK10 och ventil HRK50, eller enbart ventil HRK50, för tillförsel av NH₃, ger bäst NO_x-reduktion. Det beror på att skillnaden i NO_x-reduktion ligger inom HRK50's marginal för driftskillnader. Vid andra tester som gjorts i pannan vid många olika tillfällen, har det dock varit tydligt att reduktionen av NO_x fungerar bättre genom tillförsel av NH₃ via ventil HRK50 än via kombinationen HRK50 plus HRK10.

6.1.3.2 SNCR plan 26

Resultatet för NH₃-tillförsel via ventilerna HRK10 och HRK20, som är placerade på plan 26, presenteras i Figur 15.



Figur 15: Generella NO-utsläpp vid test på plan 26 samt vid olika manuella inställningar.

- NH₃-tillförsel via ventil HRK20 gav klart sämst NO_x-reduktion vid lasten 17 kg/s det högre NH₃-flödet.
- Av resultaten från testerna med manuella inställningar går det inte att dra några klara slutsatser. De ligger inom ramen för driftskillnader och är troligen inte repeterbara.
- Skillnaden i NO_x-utsläpp mellan NH₃-tillförsel via endast HRK20 och via endast HRK10, visar att NH₃-tillförsel via enbart HRK10 ger klart bättre NO_x-reduktion vid de båda NH₃-flödena. Denna skillnad har även tidigare uppdagats vid ett mindre test.

6.1.3.3 SNCR plan 17

Resultat från det första provprogrammet gav de allra högsta NO-utsläppen när NH₃ tillfördes via ventil HRK30 och ventil HRK40 (plan 17). NO-utsläppen från tillförsel av NH₃ via ventil HRK30, HRK40 samt kombinationen, varierade mellan 75,8–86,3 ppm jämfört med de NO-utsläpp som NH₃-tillförsel via övriga ventiler gav. NO-utsläppen via övriga ventiler varierade mellan 36,3–70,0 ppm. Av den anledningen testades inte NH₃-tillförsel via ventilerna HRK30 och HRK40 inte vid den högre lasten 25kg/s. NH₃-tillförsel via ventil HRK30, HRK40 eller kombinationen är alltså inte lämplig vid högre laster.

6.2 Effekter av test med ny tillförselpunkt för NH₃

Vid högre laster sker reduceringen av NO_x sämre än vid låga laster och erfarenheter visar att reducering av NO_x är mindre vid hög last, samtidigt som ammoniakslipen är hög. Detta skulle kunna bero på att förbränningen sker högre upp i pannan vid hög last och att man då eventuellt skulle behöva ha NH₃ insprutningen ännu senare för bättre reduktion. (Lundvall, M., 2007-01-29)

6.2.1 Syfte med test av ny tillförselpunkt

Då NH₃-tillförsel via den högsta nivån (plan 33) i många fall har visat sig vara den effektivaste vid de högre lasterna, skulle det vara intressant att testa effekten av en ny tillförselpunkt på en ännu högre nivå i SNCR-systemet. Syftet med testet var att undersöka effekten av NH₃-tillförsel vid en teoretiskt intressant tillförselpunkt.

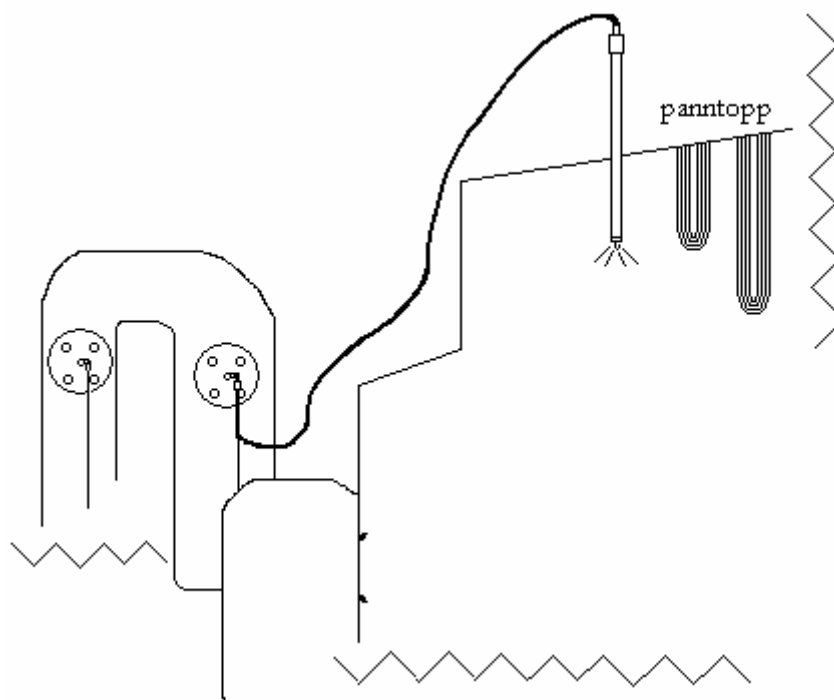
6.2.2 Utförande

Testet utfördes vid lasten 9–11 kg ångflöde/s, vilket räknas som en låg last. Värmeunderlaget räckte vid testets genomförande inte till att köra anläggningen mer än så. Trots den låga lasten var NH₃-tillförsel via ventil HRK50 (plan33) den effektivaste tillförselpunkten för reduktion av NO_x.

En lans med dysa, motsvarande dem på plan 26, tillverkades (se Figur 16 nedan). Den nya lansen kopplades in på det befintliga ammoniaksystemet genom att byta ut en av de tre högst belägna tillförselpunkterna (HRK50) till den nya lansen. Det innebär att det lokala flödet inuti lansen kunde läsas av på flödesmätaren. Lansen sköts sedan in i eldstaden ovanifrån via ett hål där ett termoelement normalt var beläget. I änden på lansen satt ett likadant munstycke (dysa) som andra ammoniaklansar med direkt tillförsel. För att kunna nå en ny punkt på panntoppen, användes en gummislang på 13 meter samt olika kopplingar som var anpassade för klara ett högre tryck, se Figur 16.

Lansen, som var 3 meter lång, sköts först ned i pannan så att 1,65 meter stack upp ovanför panntoppen. Sedan testades avstånden 1,15 m samt 0,75 m från panntoppen. Se Figur 16 för skiss över mätningplats. Figuren visar två av totalt tre tillförselpunkter kopplade till magnetventil HRK50, varav en av dem istället är kopplad till den nya lansen. Normalt sett sker tillförsel av ammoniakblandad luft på den här nivån, till skillnad från den direkta ammoniaktilförseln som testet med lansen innebär.

Under hela testperioden användes den vanliga funktionen för styrning av NH₃-flödet, dvs. styrning genom nivå på NH₃-slipen i rökgaserna. För att undersöka effekten av ett annat NH₃-flöde, utfördes dock ett litet test med annat NH₃-flödet.



Figur 16: Skiss över ny lans på panntoppen. Bild: Egen.

6.2.3 Resultat av test med ny tillförselpunkt

Mätningarna med en extra lans med tillförsel av ammoniak på panntoppen, dvs. ovanifrån tillförsel av NH_3 , gav tydliga resultat.

1. NO varierade mellan 12,4 – 33,6 ppm
2. NO_2 varierade mellan 8,8– 11,8 ppm
3. Mycket hög NH_3 -slip vid alla olika testtillfällen, varierade mellan 32 – 72,3 ppm
4. NH_3 -flödet låg konstant på 8,3 l/h, utom vid ett test då flödet uppgick till 14,6 l/h.

Pumptrycket varierade under mätperioden mellan 30 – 50 bar när endast den nya tillförselpunkten användes. Utsläppsvärdena skall jämföras med de värden som för samma last, med vanlig ventil HRK50 låg inom följande intervall:

NO: 14,3 – 15,9 ppm
 NO_2 : 6,5 - 10,4 ppm
 NH_3 -slip: 16,4 –19,9 ppm
 NH_3 -flöde: 10,2 –12,9 l/h

NO-utsläppen var mycket högre med testutrustningen än för vanlig NH_3 -tillförsel via ventil HRK50. Totalt sett uppmättes låga utsläppsvärden på NO, men medelvärdet vid vanlig tillförsel via ventil HRK50 uppgick till 15 ppm jämfört med medelvärdet

23 ppm som NH₃-tillförsel via den nya lansen gav. Det innebär en försämring med 53 %.

NO₂-halten var ganska lika under de två mätningarna, med den nya lansen uppmättes värden som ger ett medelvärde på 10,3 ppm jämfört med tillförsel via vanlig ventil HRK50 som resulterade i ett medelvärde på 8,3 ppm NO₂.

NH₃-slipen var det mest utmärkande värdet som konstant överskred gränsvärdet (gränsvärdet innan urtvättning i RGK låg på 18 ppm vid mättillfället). Med den nya lansen uppmättes under mätperioden ett medelvärde på 52 ppm, att jämföras mot 18 ppm NH₃-slip som vanlig tillförsel via ventil HRK50 gav.

NH₃-flödet däremot var avsevärt mycket lägre, medelvärde 8,25 l/h jämfört med HRK50's 11,5 l/h. Det skall dock påpekas att NH₃-flödet 8,25 l/h kunde avläsas i PGIM medan det i kontrollrummet visades 0 l/h, vilket kan bero på flödesmätaren. (Johansson, H., 2007)

Vid analys av mätresultat framgår att lansens avstånd till panntoppen hade betydelse. Ju längre ned i pannan som lansen sköts, desto bättre NO_x-reduktion. Detta samband kan sägas vara proportionerligt.

6.3 Analys av spridningsvinkelns betydelse för NO_x-reduktionen

En av dom parametrar som påverkar NO_x-reduktionen i en panna är som tidigare nämnt omblandningen mellan NH₃ och NO_x. Omblandningen beror i sin tur på turbulens inne i pannan samt storlek och spridning av NH₃-droppar (aerosoler). Små droppar reagerar naturligtvis bättre än större droppar. Spridningen av dropparna har stor betydelse för upptagningsområdet. Av denna anledning är det intressant att undersöka vilken effekt en ändrad spridningsvinkel på dysorna kan få på NO_x-reduktionen.

Eftersom utsläppen av NO_x är högre vid högre laster är det mest intressant att undersöka möjligheter till en bättre NO_x-reduktion hos de tillförselnivåer som används vid högre laster, vilket är plan 26 och plan 33. Möjligheterna att påverka omblandningen på plan 33 får anses som små eftersom ammoniakerna där sprutas in i en luftkanal som sedan bär ammoniakdropparna in i pannan. På plan 26 sker ammoniaktilförsel däremot via direkt insprutning med lansar som går in i pannan vilket innebär stora möjligheter att påverka omblandningen av NH₃ och NO_x.

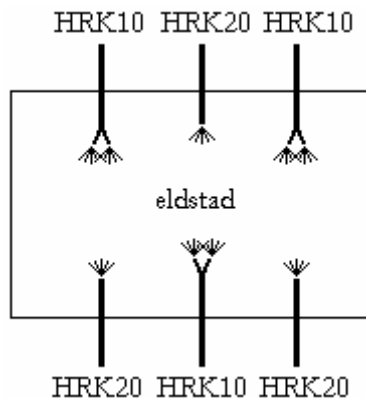
6.3.1 Syfte med test av annan spridningsvinkel

Syftet med testet var att undersöka vilken påverkan en förändrad spridningsvinkel skulle få på NO_x-reduktionen.

6.3.2 Utförande

Vanligtvis används dysor med spridningsvinkel 90° på plan 26 i SNCR-systemet. Då leveranstiden för dysor med annan spridningsvinkel än 90° var lång, kunde istället Y-kopplingar användas som gav möjlighet till användandet av två munstycken istället för ett. På så sätt kunde en annan spridningsvinkel än 90° ändå uppnås. Tre av totalt 6 munstycken på plan 26, alla kopplade till HRK10, byttes ut mot Y-kopplingar. Två

dysor med spridningsvinkel 90° sätts i en Y-koppling med ca 35-40° vinkel emellan. Figur 17 nedan visar genom vy ovanifrån hur testuppställningen såg ut. Y-vinklarna i figuren är principiella.



Figur 17: Principiell skiss av SNCR-systemet på plan 26 med montage av Y-kopplingar, sett ovanifrån. Bild: Egen.

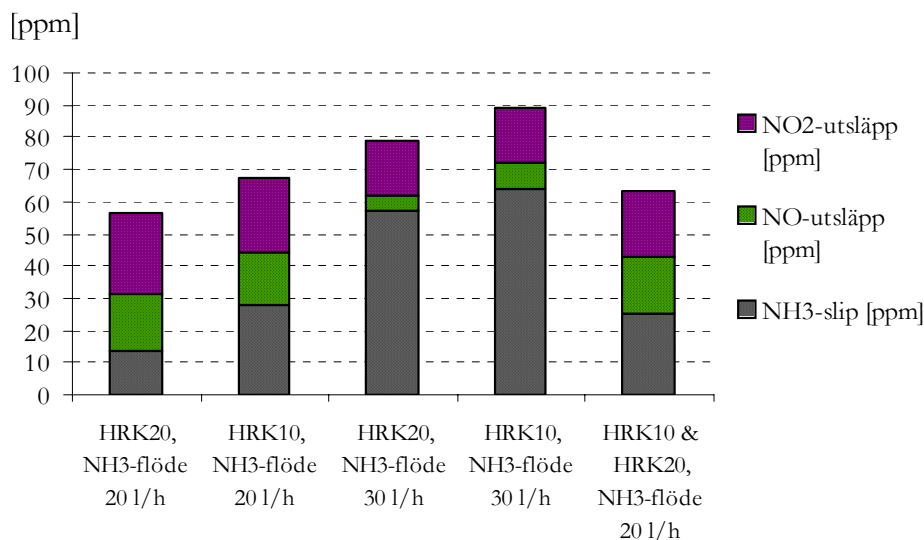
Testet utformades som ett kort provprogram som återfinns i Appendix 9. Ammoniakflödet var under testtillfället inställt på börvärde 20 l/h respektive 30 l/h. Den ursprungliga tanken var att utföra testet med ammoniakflödet inställt på 20 l/h respektive 40 l/h, men vid 40 l/h NH_3 -flöde blev NH_3 -slipen väldigt hög med värden upp emot 100 ppm. Det ledde till att 30 l/h NH_3 -flöde valdes som den högre testnivån istället.

Ammoniak tillfördes växelvis mellan de två ventilerna HRK10 och HRK20 under två timmar i taget. Efter fyra timmar, då båda ventilerna testats, höjdes ammoniakflödet till den högre nivån, 30 l/h. Slutligen tillfördes ammoniak via de båda ventilerna, även då under två timmar. Ammoniakflödet var då 20 l/h.

Lasten, som hölls konstant under mätperioden, var 7 kg ånga/s vilket är en låg last. Värmeunderlaget vid testtillfället gav inte möjlighet till att köra vid högre last än så. Lägst NO_x -utsläpp uppnåddes vid testtillfället normalt sett genom ammoniaktillförsel via ventil HRK30 eller HRK40. Eftersom det på plan 26, där testet utfördes, finns sex likvärdiga lansar för NH_3 -tillförsel, kunde ett relativt förhållande mellan ventilerna (HRK10 och HRK20) ändå fås. Det är alltså främst den relativa skillnaden vid testtillfället som är intressant. Vid testtillfället var högsta tillåtna värde på NH_3 -slipen 18 ppm.

6.3.3 Resultat från test med annan spridningsvinkel

Resultatet från mätningarna med annan spridningsvinkel presenteras i Figur 18. Figuren visar alla mätresultat från testtillfället.



Figur 18: Resultat från testperiod med annan spridningsvinkel. Bild: Egen.

Staplarna i figuren är placerade i kronologisk ordning. Vid mättillfället var högsta tillåtna nivå på NH₃-slipen 18 ppm.

Mätresultaten från testet visar att NH₃-tillförsel via HRK10 ger likvärdiga NO-utsläpp(rutig) och NO₂-utsläpp(prickig) som vid NH₃-tillförsel via ventil HRK20 vid de båda NH₃-flödena. NH₃-slipen vid NH₃-tillförsel via ventil HRK10 är dock högre än vid NH₃-tillförsel via ventil HRK20. Totalt sett, om alla oönskade utsläpp summeras, som i Figur 18, fås de sämsta utsläppsvärdena genom NH₃-tillförsel via ventil HRK10 i de båda fallen. Det innebär att ingen optimalare NO_x-reduktion uppnås med de Y-kopplade dysorna. NH₃-tillförsel via enbart de befintliga dysorna med spridningsvinkeln 90 gav under testtillfället bäst resultat.

Sammanfattningsvis:

- Dysornas utformning har betydelse för summan av de oönskade utsläppen av NO_x och NH₃-slip.
- Ammoniaktillförsel via ventil HRK10 med Y-kopplade munstycken, ger genomgående en högre NH₃-slip än NH₃-tillförsel via ventil HRK20.
- Då utsläppen i ppm i NH₃-slip är mycket högre med NH₃-tillförsel via ventil HRK10 än via ventil HRK20, ger det totalt sett sämre resultat att tillföra NH₃ via ventil HRK10 än via ventil HRK20, detta trots att skillnaden i NO_x-utsläpp i ppm är likvärdig.

Trycket i SNCR-anläggningen varierade beroende på vilken ventil som användes för NH₃-tillförsel, HRK10 eller HRK20. Om trycket blir för litet kan det innebära en

sämre sprayeffekt från dysorna. En sämre sprayeffekt kan innebära en sämre inblandning i luftflödet och därmed en minskad spridning av NH_3 i eldstaden. Detta är speciellt aktuellt för ventil HRK10 där flödet delar upp sig mellan de två munstyckena i varje lans. Trycket när ventil HRK20 kördes var lägre än med ventil HRK10. Denna faktor kan ha påverkat NO_x -reduktionen med testkopplingarna.

7 Sammanfattande resultat och diskussion

Förbränning i en rosterpanna är en mycket dynamisk process där många faktorer kan påverka förbränningsresultatet vilket ger utslag på utsläpp av CO och NO_x. Det dynamiska i förbränningen innebär att händelser i pannan lätt missas när data (PGIM) analyseras i efterhand. Exempelvis vid analys av provprogrammet, kunde trender (grafisk presentation av data i PGIM) ibland visa en sak, medan inte alls samma resultat kom fram när rådata bearbetades. Det leder till att hänsyn måste tas till väldigt många parametrar och att det krävs uppmärksamhet vid analyser av data. Parametrarna som måste tas hänsyn till är bland annat lasten (ångflödet) och sotning. En mycket lite förändring i last får exempelvis direkt effekt på olika utsläpp. Det går inte heller att isolera utsläppen av NO_x (eller NO). Det är viktigt att samtidigt ta hänsyn till vad som händer med ammoniakslipen.

Skillnaden i NO-utsläpp med upp till 16 %, som framkom vid test med provprogram, med konstant last och konstanta övriga inställningar är förhållandevis stor och kan inte bortses ifrån. En sådan markant skillnad visar på dynamiken i förbränningsprocessen och kan exempelvis bero på bränslets egenskaper som inte går att kontrollera. Avvikelserna i mätresultat är för omfattande för att enbart kopplas till de i flödesavvikelser som noterades i samband med testen. Det innebär bland annat för framtida tester samt vid analys av mätresultat, att hänsyn måste tas till mycket stora avvikelser, vilket starkt påverkar möjligheten att dra definitiva slutsatser.

Mätningarna från provprogrammet på plan 26 som visade stora skillnader i mätresultat, kan av samma anledning som ovan troligen kopplas till bränsleegenskaper. Mätningarna, som utfördes med konstant last och NH₃-flöde men under olika tider på dygnet gav resultat som markant skiljer sig åt på ett sätt som inte kan bero på variationer i NH₃-flöde.

Anledningen till att NH₃-slipen var så väldigt hög vid test av ny tillförselpunkt i SNCR-systemet, trots att nästan inget NH₃-flöde tillfördes kan bero på flera saker:

1. Att det automatiska systemet för flödesmätning av NH₃-flödet inte är tillräckligt bra. Signalen för flödesmätningen i kontrollrummet (IMS) (1HRJ40CF201_XU01) visade 0 l/h medan PGIM använde en signal (1HRJ40CF201) som visade 8,25 l/h konstant. IMS-signalen är beräknad medan signalen i PGIM är direkt uppmätt.
2. NH₃-flödet blev inte tillräckligt bra omblandat med rökgaserna och hamnade istället i ett stråk som åkte direkt ut ur pannan.
3. NH₃ omvandlades till NO_x utan att reducera NO_x.
4. NH₃ var för kall och han inte värmas upp så att reaktion kunde ske.
5. Temperaturen var för hög. Bara några meter ned, där NH₃ normalt tillförs via plan 33, kommer NH₃ in via luften (bärluft). Att denna reaktion sker måste bero på att det dels blir bra omblandning med rökgaserna och dels att reaktionerna sker inom rätt temperaturfönster. Bärluften är cirka 240°C varm och har därför en kylande effekt jämfört med de ca 750°C inuti, i översta

delen av eldstaden. Med den nya lansen tillfördes NH_3 direkt, utan tillförsel av sk. bärluft i samma punkt, vilket innebär att den kylande effekten uteblir.

Troligast är dock att NH_3 :n inte reagerade med NO_x :en speciellt bra utan åkte i ett eget stråk ut ur pannan utan omvandling (pkt 2). Detta visar vikten av bärluft i samband med ammoniaktillförsel. Man skulle kunna tro att NH_3 kanske omvandlades till NO_x (pkt 3), men eftersom NH_3 -slipen var så hög samtidigt som NO_x -utsläppen inte ökade nämnvärt, är det alltså troligare att NH_3 åkte ut med rökgaserna i ett eget stråk.

För att hålla sig på den säkra sidan bör uppehållstiden i ett ammoniakreaktionscentra ej understiga 0,5 sekunder (se 3.2). En uppehållstid vid låg last av ca 14,3 sekunder i den aktuella pannan som innebär 0,84 s i ett tänkt reaktionscentra kan därför inte antas vara en begränsande faktor för NO_x -reduktionen. Vid högre laster där uppehållstiden är cirka 2,5 sekunder och därmed 0,15 s i ett tänkt reaktionscentra kan en för kort uppehållstid vara en förklaring till den uteblivna skillnaden mellan tillförsel eller ingen tillförsel av NH_3 . En längre uppehållstid skulle kunna uppnås med en högre panna.

Uppmätta resultat under test med provprogram samt tidigare utförda gasanalyser inne i pannan, visar en tendens till förekommande stråkbildning inne i pannan. Speciellt tydlig är denna tendens i höjd med plan 26 som är gemensam nivå för där mätpositionerna 4R och 4L från tidigare utförd rapport, samt där direkt tillförsel av ammoniak in till pannan förekommer. Speciellt skillnaden i NO_x -utsläpp mellan NH_3 -tillförsel via endast ventil HRK20 och via endast ventil HRK10, som visade att NH_3 -tillförsel via enbart HRK10 ger klart bättre NO_x -reduktion vid de båda NH_3 -flödena, skulle kunna bero på stråkbildningar i pannan.

Vid hög last överrensstämmer teorin med verkligheten när det handlar om temperaturen inne i pannan och vilken NH_3 -tillförselpunkt som är mest optimal för reduktion av NO_x , dvs. NH_3 -tillförsel via ventil HRK50 (plan 33). Däremot är det delvis förvånande att NH_3 -tillförsel via ventil HRK50 ger optimalast NO_x -reduktion även vid låga laster såsom 9-11 kg ånga/s (ca 27 MW). Detta är en intressant iakttagelse som skulle kunna utredas närmare.

Den tidigare uppmätta syrehalten i pannan visar på ett omvänt proportionellt förhållande mot NO_x , vilket överrensstämmer med teorin.

Slutligen har det upptäckts en del fel i signalhanteringen. Bland annat att (nya) programmet PGIM och programmet IMS inte alltid visar samma värden. Detta har speciellt uppdagats i två fall. Signalen för beräkning av NO_x -utsläpp [mg/MJ] skiljer sig mycket. Även signalen för NH_3 -flöde [l/h] skiljer sig mellan de två olika programmen, i PGIM visade en beräknad signal ett värde medan det i IMS:en var 0. Skillnaden kan inte bortförklaras med att den ena signalen var beräknad. Många av de signaler som använts i detta arbete har varit medelvärdesberäknade signaler.

8 Slutsatser

- SNCR-anläggningen körs idag mycket bra.
Det innebär att NH_3 inte tillförs på de lägre nivåerna vid hög last och att ammoniak huvudsakligen tillförs via ventil HRK50 på plan 33. Under projektet har det framkommit att även kombinationen av ventil HRK50 och ventil HRK10 uppvisat bra resultat på NO_x reduktion.
- Vid en och samma last, med samma inställningar på pannan, har NO_x -reduktionen visat sig variera med upp till 16 %. Det försvårar möjligheterna att dra definitiva slutsatser av prövningen av de olika ventilerna HRK10, 20, 30, 40 och 50.
- Vid NO_x -reduktion genom NH_3 -tillförsel via ventiler på plan 26, har ventil HRK10 visat tendens till bättre NO_x -reduktion jämfört med ventil HRK20 samt jämfört med kombinationen av både ventil HRK20 och ventil HRK10.
- Betydelsen av bärluft i samband med tillförsel av NH_3 vid nya NH_3 -tillförselpunkter är avgörande för reduktionen av NO_x .
- Ändring av spridningsvinkeln på dysorna med hjälp av Y-kopplingar gav totalt sämre resultat på NO_x -reduktionen än med de vanliga dysorna eftersom ökningen i NH_3 -slipen inte motsvarades av minskning i NO_x -utsläpp.
- Det finns tendenser som tyder på att det finns stråkbildningar inne i pannan.
- Uppehållstiden i pannan varierar mellan ca 2,5- ca 14,3 s beroende på last och kan vara något kort vid hög last.

9 Förslag till utveckling

En viktig faktor som påverkar mängden NO_x -utsläpp är omblandningen inne i pannan. En utvärdering av möjligheter för att minska eller undvika stråkbildning inne i eldstaden och få en bättre omblandning och mer homogen förbränning vore därför en bra idé. Skulle omblandningen inne i pannan kunna ökas, skulle det innebära att det blir lättare att justera parametrar i förbränningsprocessen eftersom förändringen skulle fortplantas genom hela processen och inte kunna verka punktvis. Även för att minska CO -utsläppen skulle en ökad omblandning vara gynnsam.

För framtida analyser av förbränningsprocessen skulle det vara användbart att ha en databas med intressanta parametrar. En sådan databas skulle kunna skapas genom att under en period göra omfattande mätningar i en mängd mätpunkter samtidigt. Speciellt intressant skulle en temperatur- och hastighetsprofil vara tillsammans med fler och mer omfattande mätningar av gasegenskaper inne i pannan. I allmänhet skulle många fördelar fås genom att skapa en databas för hur själva förbränningsprocessen inne i pannan ser ut, så att det som i nuläget är en "black box" blir mer visuellt. Alternativet till att göra mätningar under en period, är att skapa fler permanenta mätpunkter inuti pannan.

Eftersom det har visat sig att NO_x -reduktionen fungerar speciellt bra genom tillförsel via plan 33 (HRK50) även vid laster där teoretiskt andra tillförselnivåer är bättre, skulle en djupare analys av karaktären av NH_3 -tillförsel på plan 33 vara mycket intressant. Det skulle kunna utredas varför NH_3 -tillförsel på plan 33 ger så bra NO_x -reduktion genom att analysera hur bärluften tillförs pannan; flödeshastighet på bärluften samt utformning av inlopp.

Eftersom en avgränsning i den här rapporten har varit sekundära åtgärder för att minska NO_x -utsläppen skulle en analys av istället de primära åtgärder såsom sekundärlufttillförsel, reburning och rökgasåterföring kunna utredas närmare.

Ett fortsatt arbete för att kunna minska NO_x -utsläppen är en analys av förutsättningar för installation av SCR-system. Då dessa SCR-system ofta är kostsamma krävs en kostnadsanalys, reduktionsanalys och temperaturanalys för de givna förutsättningarna på temperaturintervall och bränsle. Från rapporten (Hansen, J. et al., 1997) framgår det att väldigt hög last och därmed mycket höga temperaturer inne i eldstaden, leder till mycket liten eller ingen NO_x -reduktion. Dessutom är NO_x -utsläppen högre vid höga laster än vid låga laster. Detta skulle kunna innebära att det är önskvärt att installera en katalysator på en sådan plats att den mest optimala temperaturen för NO_x -reduktion i katalysatorn uppstår vid de högre lasterna. Viktigt vid analys om installation av katalysator är att analysera hur den aktuella blandningen av biobränslen (salix, bark, flis och sågspån) ser ut eftersom det påverkar igensättningsgraden hos katalysatorn. Speciellt andelen salix är viktig att analysera eftersom den kan innehålla höga halter av alkali som ger negativ påverkan på reduktionsgraden hos en katalysator.

10 Referenser

Rapporter/Tryckta referenser/Litteratur

Alvarez, H., 2003. Energiteknik, del 2. Studentlitteratur. Lund, Sverige.

Aurell, J. et al, 2005. SCR vid sameldning av biobränslen och returbränslen, rapport 932, Värmeforsk

Burmeister & Wain Energi A/S, 1994. Driftsinstruktion ENA Kraft 13035, rev.941124, Generell beskrivning och drift

Burmeister & Wain Energi A/S, 1994. Driftsinstruktion ENA Kraft 13035, rev.941124, Ammoniakdosering (De-NO_x)

Eklund, A., 2002. Marknadsstudie av låg-NO_x-brännare för olja, gas och träpulver, Värmeforsk miljö- och förbränningsteknik, rapport nr 782

Energimyndigheten, 2006. Energiläget 2006. Statens Energimyndighet, ET 2006:43

Energimyndigheten, 2005. Utvecklingen på kraftvärmeområdet. Statens Energimyndighet, ER 2005:21

Fransson, K., Larsson, E., 1989. Anvisningar för prestandaprov vid pannanläggningar, Värmeforsk, rapport nr 337

Hansen, J. et al., 1997. Measurements of Gas Concentrations, Lambda Values and Temperatures in the Furnace of a 78 MWt Wood Fired Boiler. ENA Kraft October 1996. Dep. Of Chemical Engineering. Technical University of Denmark, Denmark.

Kajiser, A., 1990. Ledningen och makten, Svante Beckman (ed.), Stockholm

Landtblom, M., Malmgren, A., 2001. Indikering av driftsituationen i eldstaden, TPS Branschforskningsprogram för Energiverk 2000/01 – Rostteknik, TPS 01/41

Moberg, G. et al, 1996. Utvärdering av ny SNCR-inblandningsteknik vid avfallspanna hos Uppsala Energi (System ROTAMIXTM). Värmeforsk miljöteknik, rapport nr 572.

Rudling, L., 2000. NO_x-reduktion med stegvis lufttillförsel och tillsats av ammoniak vid stökiometri nära 1.0, vid förbränning av träpulver. Värmeforsk miljö- och förbränningsteknik, rapport nr 676

Schuster, R., 2003. Optimering av SNCR-system i förbränningsprocesser. Rapport 2003-1001. Projekt Adaptiva styrsystem för eldstäder. Ångpanneföreningens forskningsstiftelse.

Wester, L., 2002. Förbrännings- och rökgasreningsteknik. Västerås, Sverige

Wrangsten, L., 2001. Aktiva murverk – etapp1, Värmeforsk tillämpad förbränningsteknik, rapport nr 743

Internet

Energimyndigheten (2007-05-27) Handel med utsläppsrätter
http://www.energimyndigheten.se/WEB/STEMEx01Swe.nsf/F_PreGen01?ReadForm&MenuSelect=7EDE1E26198B1B4CC1256E4C0047CC8C (2007-04-12)

Naturvårdsverket (2006-12-18). NO_x-avgiften statistik
http://www.naturvardsverket.se/dokument/teknik/energipr/noxdok/pdf/2005_bil_3.pdf, (2007-02-23)

Naturvårdsverket (2007-01-16) Preliminärt resultat NO_x 2006
http://www.naturvardsverket.se/upload/03_lagar_och_andra_styrmedel/ekonomiska_styrmedel/kvaveoxidavgiften/resultat_och_statistik/preliminara_resultat_for_nox_avgiften_2006.pdf, (2007-05-03)

Petro Miljö AB (2007-05-15) NO_x-reduktion SNCR
http://www.miljoteknologi.no/aktuelt/seminarer/nox_seminar_05/petromiljsncr.pdf (2005-11-30)

ÅF Energi och miljö (2003-09-01) Miljöfakta utsläpp av kväveoxider
http://www.energiochmiljo.se/abonnemang.asp?cat=abo_mall&sid=390, 2007-01-30)

ÅF Energi och miljö (2006-03-15) Miljöfakta försurning
<http://www.energiochmiljo.se/abonnemang.asp?cat=a&type=M&chapter=2&subchapter=3&page=8> (2007-05-24)

Muntliga referenser

Hiltunen, M., 2007-02-22, Foster Wheeler, Seminarium Korrosion i pannor och rökgasreningsanläggningar

Johansson, E., 2007, vd ENA Energi.

Johansson, H., 2007, operatör ENA Energi.

Lundvall, M., 2007, driftchef ENA Energi.

Shen, X., 2007, miljöstudent, visstidsanställd ENA Energi.

Appendix

Appendix 1: NO_x-deklaration



SWEDISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY

1 (1)

Gunilla Söderström
Tel: 08-698 16 76
gunilla.soderstrom@naturvardsverket.se

SKRIVELSE Dnr
2007-03-22 713-2342-07

Kontaktperson för NO_x-deklaration

Preliminära resultat för NO_x-avgiften 2006

Vi har nu registrerat alla deklarationer för år 2006 och tillgodoföringens storlek blir preliminärt 8,44 kr/MWh, att jämföras med förra årets 8,80 kr/MWh. Innan tillgodoföringen kan fastställas ska alla deklarationer granskas.

Det specifika NO_x-utsläppet är i genomsnitt för alla pannor 0,214 i kg/MWh nyttiggjord energi. Det specifika NO_x-utsläppet uttryckt som mg/MJ blir cirka 52 mg/MJ, en minskning från 2005 års siffra som var 54 mg/MJ.

Ny hemsida

Naturvårdsverkets nya hemsida lanseras 30 mars 2007. Information om kväveoxidavgiften finner du precis som tidigare på www.naturvardsverket.se/nox

Elektronisk deklaration

En elektronisk deklaration av kväveoxidavgiften via internet är under utveckling. Den blir troligen färdig för att användas för 2007 års deklarationer. Mer information om detta kommer innan det är dags för nästa deklaration.

Provningsjämförelse

Under senare delen av april sker en provningsjämförelse där de laboratorier som brukar utföra jämförande mätningar har bjudits in. Vid provningsjämförelsen ska NO, O₂ och rökgasflöden bestämmas. Provningsjämförelsen samordnas av Naturvårdsverket i samarbete med SWEDAC.

Flytt till Östersund

Den första juni flyttar vi till Östersund. Flytten innebär inga skillnader i vår verksamhet och vi behåller samma postadress och telefonnummer som tidigare.

Vänliga hälsningar
NO_x-gruppen

BESÖK: BLEKHOLMSTERRASSEN 36
POST: 106 48 STOCKHOLM
TEL: 08-698 10 00
FAX: 08-20 29 25
E-POST: NATUR@NATURVARDSVERKET.SE
INTERNET: WWW.NATURVARDSVERKET.SE

Appendix 2: Deklarationsblankett för NO_x ENA Energi AB år 2006



Deklarationsblankett för miljöavgift på utsläpp av kväveoxider vid energiproduktion för 2006

Sida 1 (4)

Senast den 25 januari 2007 skall deklarationen ha kommit till oss.
Adressen är: Naturvårdsverket, 106 48 Stockholm
Läs "Lathund för NO_x-deklarationen 2006" innan du fyller i blanketten!

Administrativa uppgifter

Företagets namn Ena Energi AB		
Anläggning Ena Kraft		
Län Uppsala	Kommun Enköping	Ort Enköping
Huvudman, postadress och eventuell referens för faktura/återbetalning Ena Energi AB, Box 910, 745 25 Enköping		
Organisationsnummer 556153-8389	PlusGiro/Bankgiro 3 88 40-5	
Kontaktperson Camilla Åhlund		
Telefon växel 0171-62 54 10	Direkttelefon 0171-62 50 66	
Fax 0171-62 54 12	E-postadress camilla.ahlund@enae.se	
Postadress (om annan än ovan)		

Verksamhet/bransch

<input type="checkbox"/> avfallsförbränning	<input checked="" type="checkbox"/> kraft- och/eller värmeverk	<input type="checkbox"/> kemiindustri
<input type="checkbox"/> livsmedelsindustri	<input type="checkbox"/> metall- och verkstadsindustri	<input type="checkbox"/> träindustri
<input type="checkbox"/> massa- och pappersindustri	<input type="checkbox"/>	

Sammanställning - avgiftspliktiga pannor *

Redovisa pannor med total nyttiggjord energi av minst 25 000 MWh.			
Panna (beteckning)	Total nyttiggjord energi (MWh)	Totalt NO _x -utsläpp (kg som NO ₂)	Miljöavgift (bruttobelopp, kr)
1 ENA	3 67 487	85 055	3 402 200
2			
3			
4			
5			

Ikke avgiftspliktiga pannor

Redovisa pannor med total nyttiggjord energi mellan 10 000 och 25 000 MWh.			
Panna (beteckning)	Nyttiggjord energi (MWh)	Panna (beteckning)	Nyttiggjord energi (MWh)
I		IV	
II		V	
III		VI	

* Med panna avses också gasturbin och stationär förbränningsmotor

NNV 2006 1.0 2006-12-05 2007-01-18 09:32:15 Samråd enligt SFS 1982:668 har skett med Näringslivets nämnd för regelutvärdering, NNR

Avgiftspliktiga pannor

Tekniska uppgifter				
Panna	Panneffekt (MW)	Pannverkningsgrad (%)	Specifikt utsläpp (mg NO ₂ /MJ tillfört)	NO _x -redocerandem åtgärder
1	88,0	95,1	60,64	SNCR
2				
3				
4				
5				

Panna	Bränsle 1 (energiandel)	Bränsle 2 (energiandel)	Bränsle 3 (energiandel)
1	Flis (99,90 %)	EO1 (0,10 %)	(%)
2	(%)	(%)	(%)
3	(%)	(%)	(%)
4	(%)	(%)	(%)
5	(%)	(%)	(%)

Nyttiggjord energi			
Panna	Bestämning enligt typfall (ange 1-8)	Total nyttiggjord energi (MWh)	Finns rökgas-kondensering? Om ja, ange dess andel av den totala nyttiggjorda energin (%)
1	3	367 487	<input checked="" type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej 7,7
2			<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej
3			<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej
4			<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej
5			<input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nej

Dessa siffror förs in på sidan 1

Har mätprincipen för bestämning av nyttiggjord energi ändrats sedan förra årets deklaration?

☒ Nej ☐ Ja, nämligen: _____

Forts. följer på bilaga nummer _____

I den totala nyttiggjorda energin ovan har följande avdrag för egenförbrukning gjorts:

Panna	Avdrag för egenförbrukning (% av entalpskillnaden över pannan)	Användningsområden
1		
2		
3		
4		
5		

Metod för bestämning av NO_x-utsläpp

Har mätinstrument/beräkningsmetod för NO_x, O₂, CO₂ eller rökgasflöde ändrats i något avseende sedan förra årets deklaration?

☒ Nej ☐ Ja, nämligen: _____

_____ Forts. följer på bilaga nummer _____

Panna	NO _x -utsläppet har bestämts genom:			Rökgasflödet har bestämts genom:	
	Kontinuerlig separat mätning NO och NO ₂	Mätning av NO efter omvandling av NO ₂ i konverter	Mätning av NO och procentpåsag* av NO ₂ -andelen	Mätning (direkt i rökgaskanal)	Beräkning
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Se bilaga 3
2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Se bilaga 3
3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Se bilaga 3
4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Se bilaga 3
5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Se bilaga 3

* Procentpåsag för NO₂-andel ska beräknas med följande formel:
$$\text{Utsläpp [NO}_x\text{]} = \text{Utsläpp [NO]} \times \frac{100}{100 - (\text{Andel NO}_2)}$$

Utsläpp av NO_x räknat som NO₂

Panna	Drifttid panna (timmar)	Giltiga		Bortfall i högst 37 timmar/månad	
		Giltig mätid (timmar)	Giltiga uppmätta utsläpp - Inklusive NO ₂ -andelen (kg)	Drifttid med mätbortfall i högst 37 timmar/månad (timmar)	Utsläpp med mätbortfall i högst 37 timmar/månad - Inklusive NO ₂ -andelen (kg)
1	6 865	6 781	84 353	2	16
2					
3					
4					
5					

150% - regeln				Schablon		Totalt
Panna	Antal månader med bortfall mer än 37 timmar av pannans drifttid (månader)	Tid då 150% - regeln använts (timmar)	Utsläpp enligt 150% - regeln - Inklusive NO ₂ -andelen (kg)	Tid då schablon använts (timmar)	Utsläpp enligt schablon (kg)	
1	1	82	686	0	0	85 055
2						
3						
4						
5						

Desse siffror förs in på sidan 1

Avgiftspliktiga pannor

Bilaga 1: Årsrapport och månadsrapporter

Vilken programvara används i NO_x - datorn: _____

Årsrapport (månadsmedelv.) och månadsrapporter (dygnsmedelv.) från NO_x - datorn bifogas som bilaga 1:

☒ Ja ☐ Nej, därför att: _____
Forts. följer på bilaga nummer _____

Bilaga 2: Jämförande mätning

Mätsystemet har kontrollerats av ackrediterat laboratorium enligt Naturvårdsverkets föreskrifter NFS 2004:6.
Besiktningsrapporten bifogas som bilaga 2.

Besiktningsdatum: _____

☒ Värdena för systematisk skillnad och standardavvikelse som anges i § 23 uppfylldes.
☐ Värdena för systematisk skillnad och standardavvikelse som anges i § 23 och i allmänna rådet, uppfylldes inte.

Följande undersökningar och åtgärder har vidtagits: _____
Forts. följer på bilaga nummer _____

Dygnsrapport (timmedelv.) från NO_x - datorn för de tre dygn då jämförande mätning utförts bifogas som bilaga 2(b):

☒ Ja ☐ Nej, därför att: _____
Forts. följer på bilaga nummer _____

Bilaga 3: Beräkning av rökgasflöde

För pannor där rökgasflödet bestäms genom beräkning redovisas i bilaga 3 de bränsledata som använts under året. Uppge den nya fukthalten vid byte av bränsle! (För de pannor som mäter rökgasflödet "direkt i rökaskanalen" lämnas inge redovisning.)

För redovisning används: ☒ Naturvårdsverkets formulär ☐ Datorutskrift ☐ Egen sammanställning

Övriga upplysningar/Bilageförteckning

Bilagala: Sammanställning av driftdata i dygnsvärden
Bilagalb: Sammanställning av driftdata i månadsvärden
Bilaga2: Jämförande mätning av METLAB Bilaga2b: Dygnsrapport jämförande mätning
Bilaga3: Redovisning av data för rökgasflödesmätning
Forts. följer på bilaga nummer _____

Underskrift

Jag försäkrar på heder och samvete att denna deklaration är riktig och sanningsenlig.

Datum	Ort	Befattning
2006-01-24	Enköping	VD

Underskrift: _____
Namnförtydligande
Eddie Johansson

Appendix 3: Reduktion av NO vid tillfälligt slut NH₃

Reduktion av ammoniak(NH₃)

genom kännedom om datum för NH₃-leverans under driftperioden 2006/2007

Datum	NO-utsläpp utan tillförsel av NH ₃ [ppm]	NO-utsläpp med tillförsel av NH ₃ [ppm]	Reduktion [%]
20061113	89,4 93,3 91,3 98,7 97,5 101,7	73,4 69,9 74,9 218,3	
	95,3	72,8	24
20070104	113,0 113,0	83,6 83,6	26
20070129	101,0 113,1 107,0	66,4 66,4	38
20070208	101,6 101,6	34,7 34,7	66
20070326	64,3 55,2 60,0	22,2 22,2	63

Appendix 4: Provprogram

PROVPROGRAM

Test av ammoniaksystemet

Syfte: Att prova vilken effekt de olika inställningarna för ammoniaktillförsel får på NO_x -utsläpp vid lite högre last.

- **Jämförelse vid konstant mängd tillförd NH_3 .**
- **Testas vid aktuell last.**
- **Ingen protokollförning behövs eftersom alla värden registreras i PGIM.**

Kommentar: Blå text är mina kommentarer och behöver inte tas hänsyn till
Vid avvikelser från provprogrammet, vänligen notera vid respektive tidpunkt.

Testledare: Anna Björk

Om ni behöver kontakta mig, finns jag på mob nr: XXX-XXX XX XX

Måndag 19/3

Kommentar: kl. 09.00 kördes 1HRK50AA201

Tisdag 20/3

Kl. 00.00 – 02.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

Endast **1HRK10AA201**

Kl. 02.00 – 04.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

Endast **1HRK50AA201**

Kl. 04.00 – 06.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

Endast **1HRK20AA201**

För att kunna avgöra vilken av dessa tre som är effektivast vid förekommande last, speciellt intressant är skillnaden mellan HRK10 och HRK50

Kl. 06.00 – 09.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

1HRK50AA201 samt 1HRK10AA201

Hur skiljer sig denna kombination från endast HRK10 eller endast HRK50?

Kl. 09.00 – 11.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Kl. 11.00 – 13.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Kl. 13.00 – 15.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **25 l/h**

1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Här finns utrymme att stänga av/växla mellan olika ventiler för att bitta den optimala inställningen på plan 26

Kl. 15.00 – 16.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **25 l/h**
HRK30AA201 samt 1HRK40AA201

Kl. 16.00 – 17.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **25 l/h**
Endast **1HRK30AA201**

Kl. 17.00 – 18.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **25 l/h**
Endast **1HRK40AA201**

Kl. 18.00 – 19.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **25 l/h**
Endast **1HRK50AA201**

Onsdag 21/3

Kl. 00.00 – 02.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
Endast **1HRK10AA201**

Kl. 02.00 – 04.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
Endast **1HRK50AA201**

Kl. 04.00 – 06.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
Endast **1HRK20AA201**

För att kunna avgöra vilken av dessa tre som är effektivast vid förekommande last, speciellt intressant är skillnaden mellan HRK10 och HRK50

Kl. 06.00 – 09.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201 samt 1HRK10AA201

Hur skiljer sig denna kombination från endast HRK10 eller endast HRK50?

Kl. 09.00 – 11.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Kl. 11.00 – 13.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Kl. 13.00 – 15.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Här finns utrymme att stänga av/växla mellan olika ventiler för att bitta den optimala inställningen på plan 26, speciellt intressant är nu att titta på att stänga ventil 1 & 2 från vä på bordsidan samt att ev. justera in lika flöden på alla ventiler

Kl. 15.00 – 16.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
HRK20AA201 samt 1HRK50AA201

Denna kombination borde bli sämre än kombinationen HRK50 och HRK20, men hur skiljer den sig mot bara plan 26?

Kl. 16.00 – 17.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK40AA201 samt 1HRK30AA201

Kl. 17.00 – 18.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
Endast **1HRK40AA201**

Kl. 18.00 – 19.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
Endast **1HRK30AA201**

Kl. 19.00 – 21.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201, 1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Torsdag 22/3

Högre last

Kl. 08.00 – 08.30

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201

Justera in flödet så att det blir lika mycket till varje dysa på plan 33

Kl. 08.30 – 10.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201 samt 1HRK10AA201

Läs av hur stort flödet är på respektive plan.

Kl. 10.00 – 11.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201, 1HRK10AA201 samt 1HRK20AA201

Läs av alla flöden och justera eventuellt så att flödet blir lika stort överallt...är flödet ursprungligen större på plan 26?

Kl. 11.00 – 12.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **0 l/h**
INGEN MAGNETVENTIL ÖPPEN

Kl. 12.00 – 14.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK20AA201 samt 1HRK10AA201

Stäng mittventilen på bakre sidan kl. 13.00

Kl. 14.00 – 15.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **35 l/h**
1HRK50AA201

Kl. 15.00 – 16.00

Manuell körning med ammoniakpumpen ställd så att NH₃-flödet blir **45 l/h**
1HRK50AA201

Tack på förhand!!!

Hälsningar Anna

Appendix 5: Rådata gasmätningar från (Hansen, J. et al., 1997)

Resultat av alla gas- och lambda mätningarna

Medel och standardavvikelser

Appendix C

Last 27 MWt (23 oktober 1996)											Standardavvikelse					
Pos	från vägg [cm]	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]	t [C]	Lambda % > 0.6	Tid gas - start	Tid gas - stopp	Gas- mätare ID	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]
1	140	1,05	0,57		14,57	92		57	19.24	19.45	G4_1_27	0,61	0,31		0,24	13
	50	0,96	0,75		14,18	70		67	19.45	20.02	G4_1_27	0,81	0,51		0,35	14
2	140	3,53	0,51		14,4	46	840	10	20.21	20.33	G5_2_27	0,76	0,2		0,26	4
	50	3,55	0,45		14,14	47	770	8	20.33	20.46	G5_2_27	0,75	0,18		0,23	5
4L	20							7								
	160	4,89	0,06	910	14,19	23	700	0	21.07	21.28	G6_4L_27	0,31	0,03	410	0,18	3
4R	70	4,87	0,08	1359	14,15	23	710	0	21.28	21.44	G6_4L_27	0,43	0,04	506	0,19	4
	160	3,79	0,04	541	14,33	46	750	0	21.56	22.03	G7_4R_27	0,36	0,03	248	0,44	4
e	70	3,93	0,09	923	14,34	48		0	22.03	22.15	G7_4R_27	0,51	0,03	318	0,19	7
	70	3,74	0,09	905	14,35	61			22.15	22.22	G7_4R_27	0,51	0,05	402	0,17	5
Last 80 MWt (24 oktober 1996)											Standardavvikelse					
Pos	från vägg [cm]	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]	t [C]	Lambda % > 0.6	Tid gas - start	Tid gas - stopp	Gas- mätare ID	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]
1	140	3,66	1,62		13,66	107		54	12.16	12.26	G11_1_80	0,81	0,35		0,29	9
	90							76								
	45	0,52	1,68		13,44	67		84	12.26	12.38	G11_1_80	0,31	0,32		0,15	8
	10							52								
2	140	0,38	1,1		13,76	84		85	11.16	11.26	G10_2_80	0,38	0,33		0,19	10
	90						###	54								
	45	0,22	1,02		13,73	90	###	45	11.26	11.30	G10_2_80	0,13	0,21		0,13	3
	10							10								
4R	160	2,35	0,06	749	14,78	87		0	09.55	10.10	G8_4R_80	0,51	0,04	387	0,15	5
	65	4,15	0,01	219	14,49	78		0	10.10	10.23	G8_4R_80	0,59	0,01	102	0,22	5
	160	1,67	0,15	1453	14,37	78		0	10.23	10.30	G8_4R_80	0,49	0,07	448	0,13	4
	4L	160	3,14	0	83	14,5	72	0	10.46	10.59	G9_4L_80	0,49	0,01	73	0,14	4
	65	4,38	0	123	14,43	59	906	0	10.35	40.46	G9_4L_80	0,6	0	40	0,2	5
	5L	35	2,78	0,13	1373	14,39	74	0	13.08	13.22	G12_5L_80	0,56	0,05	435	0,15	4
	130	2,88	0,04	551	14,45	67	900	0	13.22	13.43	G12_5L_80	0,48	0,03	274	0,13	5
	5R	35	3	0,11	1176	14,33	67	905	0	13.48	13.55	G13_5R_80	0,56	0,05	422	0,15
a	35	3,1	0,1	1129	14,24	70	905	0	13.55	14.00	G13_5R_80	0,7	0,05	456	0,17	6
b	130	2,52	0,06	693	14,15	66	930	0	14.00	14.18	G13_5R_80	0,48	0,03	294	0,14	4
c	130	2,42	0,07	838	14	64	930	0	14.18	14.31	G13_5R_80	0,43	0,03	276	0,22	4
d	130	2,67	0,05	656	13,96	67	930	0	14.31	14.59	G13_5R_80	0,44	0,03	286	0,26	4
e	130	2,54	0,06	686	13,93	67	930	0	14.59	15.19	G13_5R_80	0,36	0,03	280	0,3	4
Last 87 MWt (23 oktober 1996)											Standardavvikelse					
Pos	från vägg [cm]	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]	t [C]	Lambda % > 0.6	Tid gas - start	Tid gas - stopp	Gas- mätare ID	O2 [%]	CO [%]	CO [ppm]	CO2 [%]	NO [ppm]
1	140							49								
	120							62								
	100							88								
	70							99								
	55							93								
2	36							96								
	140							28								
	90							10								
4L	170	2,57		132	14,54	88	970		11.05	11.21	G2_4L_87	0,53		244	0,13	4
	109	3,62		75	14,51	80			11.24	11.38	G2_4L_87	0,53		64	0,14	5

- a NH3 endast i lägre nivå
- b NH3 endast i lägre nivå
- c NH3 endast på vänstra sidan
- d NH3 endast på högra sidan
- e NH3 av

Appendix 6: Mätvärden medelvärden temperaturmätning

Sammanställning av mätvärden för beräkning av temperaturmedelvärde i de olika mätpositionerna

	27 MWt		80 MWt		87MWt	
Pos	Från vägg [cm]	Temp [C]	Från vägg [cm]	Temp [C]	Från vägg [cm]	Temp [C]
2	236	860	236	1090		
	236	800				
	193	840				
	141	840				
	106	810	96	1060		
	50	770	27	1000		
Medelvärde	160	820	120	1050		
4R	261	770				
	232	765				
	188	765				
	148	750				
	109	740				
Medelvärde	188	758				
4L	260	690			258	990
	210	695			206	1005
	168	700			170	970
	109	705	87	906	109	980
	61	710			69	960
Medelvärde	162	700	87	906	162	981
5R			169	930	226	930
					174	920
					131	925
					89	920
			52	905	39	880
Medelvärde			111	918	132	915
5L			227	905	225	888
					218	900
			201	885	199	890
			176	885	179	892
			146	900		
			88	900	89	884
Medelvärde			168	895	165	890

Appendix 7: Finjusteringar av ventiler för optimering på plan 26 och plan 33

PLANERING AV VENTILTEST plan 26

Bakgrund:

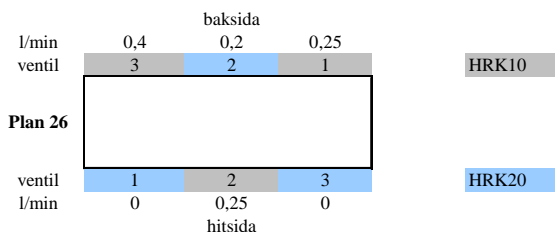
NH₃-tillförsel via ventil HRK20 har genomgående visat sämre resultat på NO_x-reducering jämfört med HRK10 vid lika förhållanden. Detta skulle kunna bero på den brännare som är placerad på plan 26, hitsidan. Av denna anledning kommer ett optimeringsförsök att göras på detta plan för att se om det finns en bättre kombination av ventilerna än de ursprungliga ihopkopplingarna via HRK10 och HRK20

Testordning, hitsidan:

- | | | | |
|---|--|------|------------------|
| 1 | Stäng av 1 & 3, hitsidan | Tid: | kl. 11.00 -12.30 |
| 2 | Öppna 1 & 3, men stäng 2, hitsidan | | kl. 12.30 -14.00 |
| 3 | Beroende på resultat, byt mellan 2 & 3 alt. 1& 2 | | kl. 14.00 |

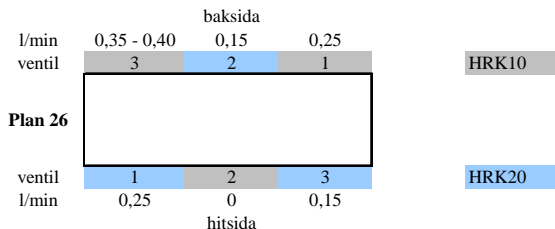
RESULTAT

- | | | |
|---|---------------------------|------------------|
| 1 | Stängt av 1 & 3, hitsidan | kl. 11.00 -12.30 |
|---|---------------------------|------------------|



Kommentar till mätresultat: Denna inställning gav lite sämre resultat på NO_x-utsläppet än med alla ventiler öppna. Före mätningen gav alla dysor på plan 26 lika mycket flöde. Denna fördelning fungerar inte längre.

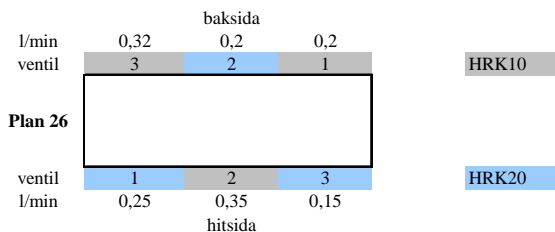
- | | | |
|---|------------------------------------|------------------|
| 2 | Öppet 1 & 3, men stängt 2 hitsidan | kl. 12.30 -14.00 |
|---|------------------------------------|------------------|



Kommentar till mätresultat: NO_x-utsläppet blev mycket större vid denna körning än med antingen alla ventiler öppna eller med 1 & 3 stängda

- | | | |
|---|--|-----------|
| 3 | Beroende på resultat, byt mellan 2 & 3 alt. 1& 2 | kl. 14.00 |
|---|--|-----------|

Här öppnades istället alla ventiler samtidigt eftersom stora variationer i lokala NH₃-flöde uppstod under mätningarna



Kommentar till mätresultat: NO_x-utsläppet blev allra bäst när alla ventiler på plan 26 var öppna samtidigt. Generellt sett var NH₃-flödet svårt att ställa in under denna mätning

PLANERING AV VENTILTEST plan 26

injustering kl. 11.30

		baksida			
l/min	0,25	0,25	0,25		
ventil	3	2	1	HRK10	
Plan 26					
ventil	1	2	3	HRK20	
l/min	0,25	0,25	0,25		
		hitsida			

Testordning:

- 1 Stäng av 1 & 3, hitsidan
- 2 Öppna 1 & 3, men stäng 2 på baksidan
- 3 Återställ

Tid:

kl. 11.30-13.00
kl. 13.00-14.30
kl. 14.45

RESULTAT

- 1 Stängt av 1 & 3, hitsidan

kl. 11.30-13.00

		baksida			
l/min	0,35	0,3	0,3		
ventil	3	2	1	HRK10	
Plan 26					
ventil	1	2	3	HRK20	
l/min	0	0,35	0		
		hitsida			

- 2 Öppet 1 & 3, men stängt 2 på baksidan

kl. 13.00-14.30

		baksida			
l/min	0,25	0	0,25		
ventil	3	2	1	HRK10	
Plan 26					
ventil	1	2	3	HRK20	
l/min	0,2	0,3	0,2		
		hitsida			

Kommentar till mätresultat: NH_3 -flödena var svåravlästa på grund av stora svängningar

- 3 Återställt

kl. 14.45

		baksida			
l/min	0,25	0,35	0,25		
ventil	3	2	1	HRK10	
Plan 26					
ventil	1	2	3	HRK20	
l/min	0,2	0,3	0,2		
		hitsida			

PLANERING AV VENTILTEST plan 26 & plan 33

Testordning:

- 1 Test med flöde 0,25 l/min på plan 33
- 2 Öppna alla ventiler plan 26
- 3 Stäng alla ventiler på plan 33

Tid:

- kl. 08.00-10.00
kl. 10.00-13.00
kl. 13.00


RESULTAT

- 1 Test med flöde 0,25 l/min på plan 33 kl. 08.00-10.00

ventil	1	2	3
l/min	0,25	0,25	0,25

Kommentar till mätresultat: Alla ventiler på plan 26 var avstängda

- 2 Öppet alla ventiler plan 26 kl. 10.00-13.00

	baksida			
l/min	0,25	0,25	0,2	
ventil	3	2	1	HRK10
Plan 26				
ventil	1	2	3	HRK20
l/min	0,18	0,25	0,2	
	hitsida			

Plan 33

ventil	1	2	3
l/min	0,15	0,15	0,15

Kommentar till mätresultat: Denna inställning fungerade bra på NOx-utsläppet trots att flödet minskade. Förhållandet i flöde mellan de olika ventilerna var dock konstant under mätningen.

- 3 Stängt alla ventiler på plan 33 kl. 13.00

	baksida			
l/min	0,3	0	0,3	
ventil	3	2	1	HRK10
	<div></div>			
	Plan 26			
ventil	1	2	3	HRK20
l/min	0,25	0,3	0,25	
	hitsida			

Kommentar till mätresultat: Alla ventiler på plan 26 var öppna under mätningen

Appendix 8: Utförligt resultat provprogram

RESULTAT PROVPROGRAM

NO, NH3-slip, NH3-flöde

(NOx-signalen verkar vara opålitlig och därför används hädanefter NO i ppm istället)

Start 2007-03-19
Stopp 2007-03-24

\\IMS-AS-51\1HNE10CQ201A NO Emmision ppm
\\IMS-AS-51\1HRJ40CF201_X Flöde ammoniak l/h
\\IMS-AS-51\1HNA30CQ201B NH3 rökgas ppm
\\IMS-AS-51\1LBA10CF201 Flöde ånga kg/s

Tid 1HNE10CQ2011HRJ40CF201_1HNA30CQ201LBA10CF201

Medelvärdesberäkningar

minutmedelvärden	Flöde				Flöde ammoniak			Flöde ånga
	NO Emmision	ammoniak SNR	NH3 rökgas	Flöde ånga	NO Emmision	SNR	NH3 rökgas	
2007-03-20 01:59	57,82	25,62	13,30	17,43	60,59	18,14	14,54	17,96
2007-03-20 04:02	45,15	24,06	8,69	18,55	49,64	24,06	8,89	17,57
2007-03-20 05:59	66,84	23,51	3,63	17,42	69,02	24,72	3,85	17,67
2007-03-20 08:59	49,50	22,77	8,91	16,90	50,77	24,74	8,94	18,06
2007-03-20 11:04	69,16	23,94	4,47	18,09	60,94	25,95	6,22	17,69
2007-03-20 12:34	67,43	25,98	6,65	17,84	66,01	25,56	7,74	17,70
2007-03-20 14:07	68,66	25,98	3,44	18,00	69,98	25,98	3,47	17,75
2007-03-20 14:59	55,41	25,98	6,56	17,34	63,17	25,98	4,74	17,61
2007-03-20 16:09	87,56	24,33	2,44	18,32	81,98	24,75	2,95	17,58
2007-03-20 16:59	88,28	24,03	2,87	17,60	86,34	24,39	2,49	17,70
2007-03-20 18:02	83,53	24,16	2,47	17,98	83,37	22,52	2,39	17,64
2007-03-20 18:59	46,86	25,05	5,66	17,52	58,12	26,02	5,30	17,65
2007-03-21 01:59	50,91	35,11	29,67	15,94	43,62	38,22	19,05	16,92
2007-03-21 03:59	33,52	24,18	16,88	15,85	36,30	34,44	18,29	16,03
2007-03-21 06:06	74,06	35,63	1,94	15,90	64,75	35,33	3,18	16,11
2007-03-21 09:01	32,61	34,47	29,03	16,61	39,67	34,36	16,37	16,43
2007-03-21 11:29	59,25	34,02	6,88	16,33	52,97	34,02	8,63	16,40
2007-03-21 13:14	45,21	34,57	16,79	16,88	52,73	34,09	16,61	16,36
2007-03-21 14:44	54,22	34,05	7,59	16,27	51,57	34,27	10,69	16,47
2007-03-21 15:02	56,48	26,06	7,88	16,40	53,44	31,82	8,56	16,38
2007-03-21 16:13	55,28	12,99	4,68	16,31	46,28	33,65	5,28	16,45
2007-03-21 16:59	86,81	34,22	1,74	16,44	82,10	34,23	2,43	16,40
2007-03-21 17:59	73,41	34,66	1,91	15,77	75,75	34,11	1,76	16,43
2007-03-21 18:59	85,16	34,41	1,66	16,43	83,71	34,59	1,74	16,42
2007-03-21 20:59	43,59	35,45	10,05	16,83	48,13	35,14	7,09	16,40
2007-03-22 08:37	85,26	35,77	3,09	23,83	85,49	35,77	2,82	23,65
2007-03-22 09:59	87,00	35,73	2,65	24,23	90,75	35,40	3,19	25,04
2007-03-22 11:05	94,57	29,98	2,56	24,99	92,30	34,38	2,63	25,18
2007-03-22 11:59	97,38	0,00	2,75	25,28	102,17	0,17	2,76	25,18
2007-03-22 12:59	97,35	34,02	2,84	24,74	97,91	34,35	2,89	25,44
2007-03-22 13:59	95,83	27,51	2,75	24,95	97,92	34,25	3,04	25,38
2007-03-22 14:59	97,58	36,29	4,00	24,62	97,20	35,06	3,55	25,24
2007-03-22 15:59	87,00	45,84	5,55	24,74	87,14	45,45	5,41	25,26

Appendix 9: Provprogram annan spridningsvinkel på dysor

PROVPROGRAM

Test med nya dysor

Syfte: Att undersöka vilken betydelse spridningsvinkeln på ett munstycke har för NO_x -reduktionen

- Jämförelse vid konstant mängd tillförd NH_3 .
- Testas vid aktuell last.
- Ingen protokollförning behövs eftersom alla värden registreras i PGIM.

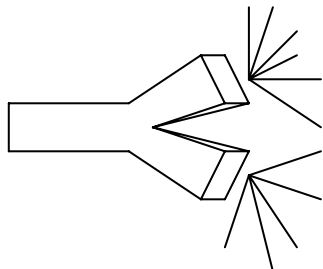
Testledare: Anna Björk

Om ni behöver kontakta mig, finns jag på mob nr: XXX-XXX XX XX

Plan 26

Byte av munstycken på HRK10. Mitten hitsidan samt de två yttre baksidan, 2007-05-03.

Y-koppling. Två dysor med spridningsvinkel 90° sätts i en Y-koppling med ca $45\text{--}50^\circ$ vinkel. Ersätter vanligt munstycke.



Genomförande

Tre av de sex befintliga munstyckena på plan 26, byttes ut mot ovan beskrivna Y-kopplade munstycken. De tre munstyckena valdes så att de styrs med en och samma ventil, nämligen de som kopplas till HRK10.

Fredag 4/5-07

Kl. 9-11

Endast **HRK10** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **20 l/h**.

Konstant last

Kl. 11-13

Endast **HRK20** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **20 l/h**.

Konstant last

Kl. 13-15

Endast **HRK10** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **20 l/h**.

Konstant last

Kommentar: Det sotades på morgonen varför detta test körs en gång till.

Kl. 15-17

Endast **HRK20** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **30 l/h**.

Konstant last

Kl. 17-19

Endast **HRK10** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **30 l/h**.

Konstant last

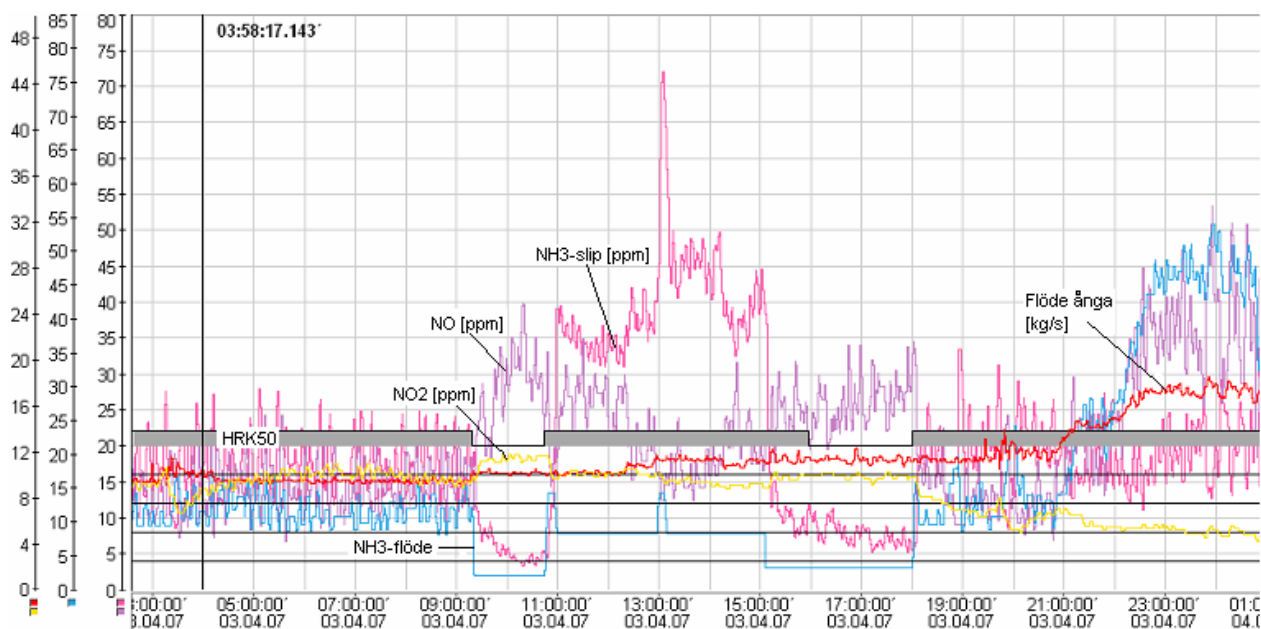
Kl. 19-21

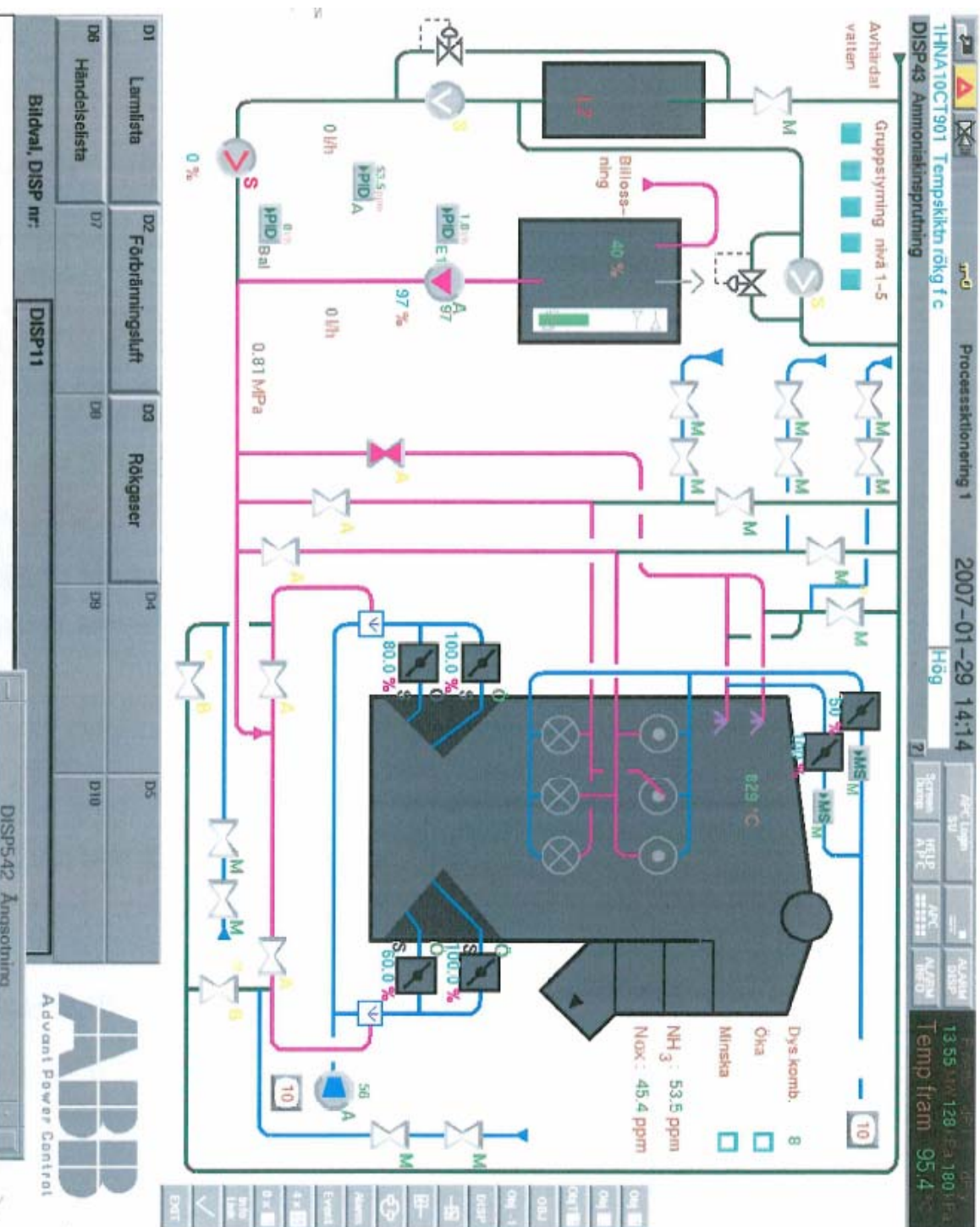
Både **HRK10** och **HRK20** körs. Med ammoniakpumpen ställd så att NH_3 -flödet blir **20 l/h**. Konstant last

Med vänlig hälsning

/Anna Björk

Appendix 10: Grafisk presentation PGIM. Exempel på skillnad mellan ingen NH_3 -tillförsel samt tillförsel via ventil HRK50





SLU
Institutionen för energi och teknik
Box 7032
750 07 UPPSALA
Tel. 018-67 10 00
pdf.fil: www.et.slu.se

SLU
Department of Energy and Technology
Box 7032
SE-750 07 UPPSALA
SWEDEN
Phone +46 18 671000
